

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCUS VINÍCIUS MANFRIN DE OLIVEIRA FILHO

**RUÍDO AMBIENTAL: AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES EM
CURITIBA – PR**

CURITIBA

2014

MARCUS VINÍCIUS MANFRIN DE OLIVEIRA FILHO

RUÍDO AMBIENTAL: AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ing – Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

Marcus Vinicius Manfrin Oliveira Filho

“Ruído Ambiental: Avaliação Acústica de Edificações em Curitiba”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Paulo Henrique Trombetta Zannin
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Bani Szeremeta
Universidade Federal do Paraná

Tobias Bleninger
Universidade Federal do Paraná

Heinz Dieter Fill
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 25 de março de 2014

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará a seu tamanho original”.*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelos dons da vida e da sabedoria.

Ao Prof. Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin por compartilhar seu tempo e conhecimento, pela orientação e por ter me incentivado como um grande amigo desde que nos conhecemos.

A meus pais Maria Inês Schünemann e Marcus Vinícius Oliveira, pela paciência, compreensão e apoio incondicionais.

Aos meus irmãos Guilherme e Gustavo e ao meu primo Pedro, pelos milhares de horas de conversas sobre assuntos científicos e de interesse.

Aos meus amigos do LAAICA, Amanda Constantini, Carlos Costa, Fernando Bunn, Gabriele Sturm, Karyn Hamad, Margret Engel, Melina Nagata, Mirre Milanez, Patricia Soares, Paulo Fiedler e Rodrigo Ribeiro que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo apoio, confiança e dedicação durante este período.

Ao CNPq, à Fundação Araucária, ao DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst) e à FINEP, pelo apoio financeiro referente à compra dos equipamentos e softwares de acústica, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

RESUMO

Como outras metrópoles brasileiras e do mundo, Curitiba sofre os efeitos decorrentes da poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. Este problema de saneamento ambiental não possui solução única, sendo necessárias ações de controle de ruídos nas fontes de emissão, caminho de propagação e receptores. Neste contexto, o isolamento sonoro de fachadas apresenta-se como importante ferramenta para a mitigação deste problema ambiental, atuando no caminho de propagação. O presente trabalho avaliou, através de medições *in situ*, treze situações de fachadas de edificações em Curitiba, de diferentes materiais construtivos e em diferentes locais da cidade. Destas, dez apresentaram desconformidades com a norma brasileira NBR 15.575/2012 e com o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edificações (RRAE) de Portugal, segundo o parâmetro diferença padronizada de nível ponderada – $D_{2m,nT,w}$. Em três fachadas, aberturas de aproximadamente 0,5 cm foram deixadas propositalmente em portas e janelas, a fim de estudar o efeito causado pelas mesmas sobre a qualidade o isolamento sonoro das edificações. Foram constatadas reduções de 2 a 3 dB sobre a diferença padronizada de nível ponderada quando foram deixadas as frestas, em comparação com a situação em que portas e janelas estavam completamente fechadas. Simulações de isolamento sonoro foram realizadas utilizando-se o *software* BASTIAN, a fim de propor soluções para o dimensionamento do isolamento sonoro de fachadas cujos desempenhos ficaram aquém do mínimo estabelecido pelas normas. Valores de mercado de elementos de fachadas foram pesquisados em setembro de 2013, permitindo ao leitor um vislumbre sobre as quantias monetárias necessárias para o tratamento acústico das fachadas simuladas. Um mapa acústico tridimensional foi elaborado utilizando-se o *software* Predictor, em uma região no centro de Curitiba. Um prédio de aproximadamente 82 m de altura foi tomado como estudo de caso, onde uma metodologia para o dimensionamento do isolamento sonoro para edificações de vários pavimentos foi proposta. Os resultados demonstraram que a qualidade do isolamento sonoro de edificações brasileiras é baixa, devido, principalmente, a imperfeições construtivas e ao uso de materiais com propriedades acústicas desfavoráveis.

Palavras chave: isolamento sonoro de fachadas, ruído ambiental, mapeamento acústico, acústica de edificações.

ABSTRACT

As other metropolis from Brazil and around the world, Curitiba is exposed to the effects caused by noise pollution characterized by urban noise. Noise control measures act on emission sources, propagation paths and receptors. Thereby, environmental sanitation problem does not have a unique solution. In this context, façade sound insulation plays an important role in the mitigation of this environmental problem, acting in the propagation path. The present work has evaluated, through *in situ* measurements, edifications façade in thirteen different situations at Curitiba. The situations varied due to the buildings location and the façades constructive materials. From the thirteen situations, ten presented irregularities with the Brazilian standard NBR 15.575/2012 and with the *Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edificações* (RRAE) from Portugal, according to the parameter weighted standardized level difference – $D_{2m,nT,w}$. In three façades, gaps of approximately 0,5 cm were intentionally left in doors and windows, with the purpose of studying the effects caused by them on edification sound insulation quality. Reductions of 2 up to 3 dB were noticed over the weighted standardized level difference, comparing with the situations where doors and windows were completely closed. In some situations where performance did not reach the minimum proposed by the standards, the software *BASTIAN* was used to make simulations, in order to develop solutions for the dimensioning of façade sound insulation. Façade elements market values were researched in September 2013, giving the reader an idea about the monetary quantities needed for the acoustical treatment of the simulated façades. A tridimensional noise map in Curitiba downtown area was elaborated using the software *Predictor*. A building of approximately 82 m high was taken as a case study, where a methodology for the dimensioning of several floors edification sound insulation was proposed. The results have shown that the sound insulation quality of Brazilian buildings is low, mainly due to constructive imperfections and the use of materials with unfavorable acoustical proprieties.

Key words: façade sound insulation, environmental noise, noise mapping, building acoustics.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (SPL) DE DIFERENTES FONTES SONORAS.....	25
FIGURA 2 – CURVA MEDIDA EM CAMPO X CURVA PADRÃO DESLOCADA	35
FIGURA 3 – METODOLOGIA PARA O CONTROLE DE RUÍDOS	42
FIGURA 4 – TELA DO SOFTWARE <i>BASTIAN</i> : 99% DA ENERGIA ACÚSTICA É TRANSMITIDA ATRAVÉS DE UMA JANELA EM UMA FACHADA	57
FIGURA 5 – TELA DO SOFTWARE <i>PREDICTOR</i> . ÁREA GEOGRÁFICA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE	61
FIGURA 6 – TELA DO SOFTWARE <i>SOUNDPLAN</i> . ÁREA GEOGRÁFICA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE	62
FIGURA 7 – MAPAS EM CORTE	63
FIGURA 8 – ANALISADOR SONORO MODELO 2260 – <i>BRÜEL & KJAER</i>	68
FIGURA 9 – ANALISADOR SONORO <i>BRÜEL & KJAER</i> MODELO 2260 À ESQUERDA; ADAPTADOR DE DOIS CANAIS <i>BRÜEL & KJAER</i> (EM DESTAQUE); MICROFONES <i>BRÜEL & KJAER</i> MODELO 4190 À DIREITA..	69
FIGURA 10 – CALIBRAÇÃO EXTERNA DE MICROFONES: ANALISADOR SONORO, ADAPTADOR DE DOIS CANAIS, CALIBRADOR (EM DESTAQUE) E MICROFONES.....	70
FIGURA 11 – ESQUEMA DE MEDIÇÕES.....	71
FIGURA 12 – SET DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DE L_2 NO INTERIOR DE UM DORMITÓRIO: MICROFONE E ANALISADOR SONORO	71
FIGURA 13 – MICROFONE POSICIONADO A DOIS METROS DE DISTÂNCIA DA FACHADA PARA MEDIÇÃO DE $L_{1,2m}$: VISTA EXTERNA DO DORMITÓRIO.....	72
FIGURA 14 – CABO PLANO MODELO 0014 – <i>BRÜEL & KJAER</i>	73
FIGURA 15 – SET DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DE $L_{1,2m}$ PELO MÉTODO DO ALTO FALANTE: MICROFONE (A 2 m DE DISTÂNCIA DA FACHADA), GERADOR DE RUÍDO BRANCO E ALTO FALANTE	74

FIGURA 16 – ALTO FALANTE APONTADO COM UM ÂNGULO DE 45° AO PLANO NORMAL DA FACHADA.....	75
FIGURA 17 – FONTE SONORA MODELO 4296 – <i>BRÜEL & KJAER</i>	76
FIGURA 18 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A MEDIÇÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM DORMITÓRIO: MICROFONE, FONTE SONORA E ANALISADOR SONORO	77
FIGURA 19 – ESQUEMA DE MEDIÇÕES DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO	77
FIGURA 20 – CRUZAMENTO DAS RUAS MARIANO TORRES E BENJAMIN CONSTANT, CURITIBA. DESTAQUE PARA EDIFÍCIO MAIS ALTO	81
FIGURA 21 – EDIFÍCIO COM 26 ANDARES NA RUA MARIANO TORRES...	82
FIGURA 22 – FACHADA 1: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO CRISTO REI.....	87
FIGURA 23 – FACHADA 2: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO CRISTO REI.....	88
FIGURA 24 – FRESTAS NAS JANELAS DA FACHADA 2	89
FIGURA 25 – FACHADA 3: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO UBERABA. DETALHE PARA MICROFONE	90
FIGURA 26 – POSICIONAMENTO DO MICROFONE PARA MEDIÇÕES NA FACHADA 3	90
FIGURA 27 – FACHADA 3 FECHADA APENAS COM A PORTA DE VIDRO .	91
FIGURA 28 – FACHADA 3 FECHADA APENAS COM A GRELHA DE METAL	91
FIGURA 29 – FACHADA 3 FECHADA COM A PORTA DE VIDRO E A GRELHA DE METAL.....	92
FIGURA 30 – FACHADA 4: SALA DE ESTAR DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO UBERABA	93
FIGURA 31 – CABO PLANO PASSANDO PELA PORTA DA FACHADA 4 COMPLETAMENTE FECHADA	94
FIGURA 32 – CABO PLANO PASSANDO PELA PORTA DA FACHADA 4 COM ABERTURA DE 0,5 CM	95
FIGURA 33 – FACHADA 5: SALA DE AULA EM UNIVERSIDADE LOCALIZADA NO BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS.....	96

FIGURA 34 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 1: PORTA DE VIDRO COMPLETAMENTE FECHADA	98
FIGURA 35 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 1: PORTA DE VIDRO FECHADA. DETALHE PARA O CABO PLANO	98
FIGURA 36 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 2: PORTA DE VIDRO ABERTA EM 0,5 CM. DETALHE PARA FRESTA	99
FIGURA 37 – FACHADA 7: PORTA DE MADEIRA, PAREDES DE ALVENARIA E VITRAL	100
FIGURA 38 – SET DE EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO ACÚSTICA DA FACHADA 7. DETALHE PARA MICROFONE À ESQUERDA E FONTE SONORA À DIREITA	101
FIGURA 39 – SET DE EQUIPAMENTOS MONTADOS PARA MEDIÇÃO DA FACHADA 8	103
FIGURA 40 – USO DE VARA DE PESCAR PARA SUSTENTAÇÃO DO MICROFONE EXTERNO DURANTE MEDIÇÕES NA FACHADA 8	104
FIGURA 41 – USO DE VARA DE PESCAR PARA SUSTENTAÇÃO DO MICROFONE EXTERNO DURANTE MEDIÇÕES NA FACHADA 8 – VISTA INTERNA DO DORMITÓRIO	104
FIGURA 42 – JANELA ACÚSTICA DA FACHADA 8 COMPLETAMENTE FECHADA	105
FIGURA 43 – JANELA ACÚSTICA DA FACHADA 8 COM FRESTA DE 0,5 CM	106
FIGURA 44 – MAPA ACÚSTICO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO DO ESTUDO DE CASO. DESTAQUE PARA EDIFÍCIO MAIS ALTO (82 METROS).....	113
FIGURA 45 – LEGENDA DE CORES	113
FIGURA 46 – PERFIL DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA QUE ATINGEM A FACHADA – ESTUDO DE CASO	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS.....	32
TABELA 2 – CURVA PADRÃO DE ACORDO COM A ISO 717-1	34
TABELA 3 – EXEMPLO DE CÁLCULO DE $D_{ls,2m,nT,w}$	36
TABELA 4 – QUALIFICAÇÃO DO ISOLAMENTO	37
TABELA 5 – EFEITOS CAUSADOS PELO RUÍDO	39
TABELA 6 – NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A).	44
TABELA 7 – NÍVEIS MÁXIMOS PERMITIDOS DE RUÍDO	45
TABELA 8 – VALORES MÍNIMOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA, $D_{2m,nT,w}$, DE VEDAÇÃO EXTERNA DE DORMITÓRIO	47
TABELA 9 – DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA DE VEDAÇÃO EXTERNA, $D_{2m,nT,w}$, PARA ENSAIOS DE CAMPO.....	48
TABELA 10 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO, R_w , DE FACHADAS.....	48
TABELA 11 – VALORES MÍNIMOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA, $D_{2m,nT,w}$, PARA FACHADAS DE DIFERENTES TIPOS DE EDIFICAÇÃO	50
TABELA 12 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE FACHADA EM FUNÇÃO DO NÍVEL EXTERNO DO RUÍDO DE TRÁFEGO	53
TABELA 13 – ALTURA DE EDIFICAÇÕES ADOTADA EM MODELO COMPUTACIONAL.....	83
TABELA 14 – VELOCIDADE MÉDIA CONFORME RUA E TIPO DE VEÍCULO	84
TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS E CALCULADOS.....	86
TABELA 16 – VALORES DAS MEDIÇÕES REFERENTES À FACHADA 3....	92
TABELA 17 – COMPARAÇÃO DE VALORES DE $D_{2m,nT,w}$ MEDIDOS COM AS NORMAS.....	107
TABELA 18 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 1	108

TABELA 19 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 2	
.....	109
TABELA 20 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 3	
.....	110
TABELA 21 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 4	
.....	111
TABELA 22 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 6	
.....	112
TABELA 23 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE FACHADA EM FUNÇÃO DO NÍVEL EXTERNO DO RUÍDO DE TRÁFEGO – ESTUDO DE CASO	118

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	20
2. OBJETIVO	21
2.1 OBJETIVO GERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1 SOM E RUÍDO.....	22
3.2 ONDAS	22
3.2.1 Propriedades físicas das ondas	23
3.3 PROPRIEDADES DO SOM.....	24
3.3.1 Fonte sonora	24
3.3.2 Nível de pressão sonora	24
3.3.3 Potência sonora	25
3.4 FUNDAMENTOS DE ACÚSTICA	26
3.4.1 Reflexão sonora	26
3.4.2 Absorção sonora	26
3.4.3 Difusão sonora	27
3.4.4 Transmissão sonora.....	27
3.5 CONDICIONAMENTO ACÚSTICO	27
3.5.1 Ruído de fundo.....	27
3.5.2 Reverberação.....	27
3.5.3 Tempo de reverberação	28
3.6 ISOLAMENTO SONORO	29
3.6.1 Parâmetros de isolamento sonoro.....	29
3.6.2 Determinação do isolamento sonoro de fachadas	31

3.6.3 Número único de isolamento sonoro	33
3.6.4 Exemplo de cálculo da diferença padronizada de nível ponderada .	35
3.6.5 Escala de qualificação do isolamento	36
3.6.6 Isolamento acústico de elementos	37
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	38
4.1 IMPACTOS CAUSADOS PELO RUÍDO	38
4.1.1 Danos causados à saúde	38
4.1.2 Desvalorização de imóveis	39
4.2 CONTROLE DE RUÍDOS	40
4.3 ASPECTOS NORMATIVOS	42
4.3.1 NBR 10.151/00	44
4.3.2 Lei Municipal 10.625/02	44
4.3.3 NBR 15.575-4	47
4.3.4 RRAE (Portugal)	49
4.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA NBR 15.575-4	51
4.5 MODELOS DE CÁLCULO DE ISOLAMENTO SONORO	54
4.5.1 EN 12.354 e <i>software Bastian</i>	55
4.6 SITUAÇÃO ATUAL	57
4.6.1 Trabalhos sobre isolamento sonoro no Brasil	58
4.7 MAPEAMENTO ACÚSTICO	60
4.7.1 Modelo de ruído rodoviário ISO 9.613-2	63
5. MATERIAIS E MÉTODOS	67
5.1 MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO DE FACHADAS	67
5.1.1 Edificações	67
5.1.2 Equipamentos e metodologia de medição	68
5.2 SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO SONORO – <i>SOFTWARE BASTIAN®</i>	78
5.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO – <i>SOFTWARE PREDICTOR®</i>	80
5.3.1 Área de estudo	80

5.3.2 Confeção dos mapas.....	82
5.3.3 Calibração do modelo	85
6. RESULTADOS.....	87
6.1 MEDIÇÕES DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA – $D_{2m,nT,w}$	87
6.1.1 Fachada 1	87
6.1.2 Fachada 2	88
6.1.3 Fachada 3	89
6.1.4 Fachada 4	93
6.1.5 Fachada 5	96
6.1.6 Fachada 6	97
6.1.7 Fachada 7	100
6.1.8 Fachada 8	102
6.1.9 Tabela de resultados.....	107
6.2 SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO	107
6.2.1 Simulação da Fachada 1.....	108
6.2.2 Simulação da Fachada 2.....	108
6.2.3 Simulação da Fachada 3.....	109
6.2.4 Simulação da Fachada 4.....	110
6.2.5 Simulação da Fachada 6.....	111
6.3 MAPEAMENTO SONORO – ESTUDO DE CASO	112
7 DISCUSSÕES.....	116
7.1 VALORES MEDIDOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA	116
7.2 SIMULAÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO	117
7.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO TRIDIMENSIONAL E DIMENSIONAMENTO DO ISOLAMENTO SONORO – ESTUDO DE CASO	118
8 CONCLUSÕES	121

REFERÊNCIAS.....	124
ANEXO I.....	131
ANEXO II.....	139
1. FACHADA 1.....	139
2. FACHADA 2.....	140
3. FACHADA 3, SITUAÇÃO 1	141
4. FACHADA 3, SITUAÇÃO 2	142
5. FACHADA 3, SITUAÇÃO 3	143
6. FACHADA 4, SITUAÇÃO 1	144
7. FACHADA 4, SITUAÇÃO 2	145
8. FACHADA 5.....	146
9. FACHADA 6, SITUAÇÃO 1	147
10. FACHADA 6, SITUAÇÃO 2	148
11. FACHADA 7.....	149
12. FACHADA 8, SITUAÇÃO 1	150
13. FACHADA 8, SITUAÇÃO 2	151
.....	151

1. INTRODUÇÃO

Nunca, durante a história, o ser humano foi exposto à poluição sonora como a que existe hoje. Enquanto os antepassados viviam em condições de relativa tranquilidade, o homem de hoje é submetido a um aumento sem precedentes de intensidade dos níveis sonoros de diferentes origens, dentro e fora de edificações, acarretando em uma série de efeitos maléficos (DOELLE, 1972).

Estudos demonstram que grande parcela da população sente-se incomodada pelo ruído urbano, apontando o ruído de tráfego como o principal causador desse incômodo (GRIFFITHS; LANGDON, 1968; ANDERSSON *et. al.*, 2010). Este tipo de poluição não é apenas um problema ambiental, mas é considerado também uma ameaça à saúde pública (WHO, 2011). A poluição sonora é responsável direta por uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana. Sintomas como irritabilidade, dores de cabeça, insônia, estresse, aumento de pressão arterial e perda auditiva, entre outros, estão relacionados à exposição do homem ao ruído (BELOJEVIC *et. al.*, 1997; MASCHKE, 1999).

Paralelamente, a poluição sonora é responsável também pela desvalorização de imóveis. Há uma crescente preocupação com o chamado “custo do ruído”, já que imóveis expostos a ambientes ruidosos podem ter seus valores reduzidos em até 30% (O GLOBO, 2012). Curiosamente, o ruído ambiental – que é considerado e difundido como um dos problemas ambientais mais nocivos – é, também, um dos mais negligenciados. Poucas ações são tomadas em relação à conscientização e controle deste tipo de poluição (T&E, 2008).

Curitiba, como outras metrópoles, sofre as consequências dos níveis de ruído acima do aceitável. A numerosa quantidade de automóveis, o tráfego ferroviário e aeroviário, o ruído das fábricas, máquinas e eletrodomésticos, além de edificações como bancos, escolas e prédios comerciais, que concentram um grande número de pessoas, são fontes de ruído que contribuem para o agravamento do problema (ZANNIN, 2002; ENGEL, 2012; BUNN, 2013; FIEDLER, 2013).

Tendo ciência deste grave problema ambiental, é necessário lançar mão de ferramentas e técnicas para o controle de ruídos. Entre elas, cabe citar: a remoção das fontes de ruído, o enclausuramento das fontes de ruído, o impedimento da passagem das ondas sonoras através de isolamento sonoro, o uso de protetores auriculares por pessoas expostas a altos níveis de pressão sonora, o controle ativo de ruído, entre outras. Na prática, a forma mais viável para o controle do ruído que afeta os ocupantes de edificações no meio urbano é o fornecimento do adequado isolamento sonoro, garantindo aos mesmos o conforto acústico necessário (GERGES 1992; VÉR; BERANEK, 2006).

Evidencia-se, portanto, que é preciso ter cuidado e atenção com a acústica correta de qualquer ambiente. Só assim é possível garantir níveis de pressão sonora adequados, preservando a saúde humana e permitindo o correto desenvolvimento das atividades inerentes a cada edificação.

Em 2012, entrou em vigor a NBR 15.575 “Edificações habitacionais – Desempenho” que, dentre outros tópicos, dispõe sobre a qualidade acústica de fachadas das residências brasileiras. Antes da edição da referida norma, revisada em 2013, não havia nenhum documento com valor de norma que regulamentasse o assunto. Para fins de comparação, era necessário que se utilizassem textos normativos estrangeiros.

Estudos anteriores sugerem negligência por parte dos construtores com a qualidade acústica das fachadas de edificações nacionais. Através de levantamentos estatísticos, Jobim (1997) apontou que a falta de conforto acústico é uma das principais fontes de insatisfação por parte dos usuários de habitações. Segundo Queiroz e Viveiros (2008), houve um decréscimo significativo na qualidade do isolamento sonoro de fachadas frontais entre 1968 e 2005 no Brasil. Todas as residências avaliadas em Curitiba por Ferreira (2004) apresentaram valores de isolamento acústico em desconformidade com a norma alemã DIN 4.109 (DIN, 1989; ABNT 2012).

Exposta a importância deste tema, este trabalho propõe-se a avaliar a qualidade acústica de fachadas de edificações em Curitiba, comparando valores medidos com os propostos pela NBR 15.575-4 – primeira norma técnica brasileira sobre o assunto – e por normas internacionais. Paralelamente, simulações computacionais foram realizadas a fim de propor soluções em casos nos quais as situações avaliadas encontraram-se em desconformidade com as

normas vigentes. Um mapa acústico tridimensional foi confeccionado em um estudo de caso sobre o dimensionamento do isolamento sonoro de prédios com vários pavimentos.

Desta forma, a presente dissertação é inovadora neste tipo de avaliação acústica de edificações brasileiras. A mesma servirá como respaldo para compradores e população em geral, que poderão cobrar de projetistas e do governo medidas para que os níveis de ruído mantenham-se adequados às normas, contribuindo para a melhora na qualidade de vida no ambiente urbano.

1.2 JUSTIFICATIVA

A qualidade de vida e a saúde dos habitantes de grandes cidades como Curitiba está diretamente relacionada à qualidade acústica de suas edificações (CROCKER, 2007).

Trabalhos recentes demonstram que Curitiba, como outras metrópoles brasileiras, está poluída acusticamente (PINTO; MARDONES, 2009; BUNN, 2010; GUEDES *et. al.*, 2011; ENGEL, 2012; ZANNIN *et. al.*, 2012; BUNN, 2013; FIEDLER, 2013). A solução para este grave problema ambiental passa por uma série de ações de controle, de cunho técnico, político e educacional. O isolamento sonoro de fachadas é uma das importantes ferramentas disponíveis para garantir níveis de pressão sonora adequados no interior de edificações – residências, edifícios comerciais, educacionais, hospitalares, recreativos, etc. – o chamado conforto acústico. Como tantos outros ramos da engenharia, o dimensionamento do isolamento sonoro exige um estudo dedicado, com o intuito de atingir as metas estabelecidas e corrigir situações que apresentem desconformidades, levando em conta a gerência de vários recursos (financeiro, tempo, mão-de-obra, materiais, etc.).

Em 2012 entrou em vigor a NBR 15.575, sendo o primeiro regulamento (com valor de norma e válido em todo o território nacional) a dispor sobre níveis mínimos de isolamento acústico a serem atingidos por edificações brasileiras. O presente trabalho terá aplicações diretas para os profissionais das áreas correlatas de construção civil, arquitetura e órgãos de fiscalização, que passam por uma fase de mudanças e reestruturação desde a aprovação da referida norma. O estudo propõe ações de controle da poluição sonora e soluções para

problemas de conforto acústico corriqueiramente encontrados na construção civil nacional, servindo de modelo para outros trabalhos, pesquisas e serviços de consultoria em acústica, notadamente na área de dimensionamento de fachadas.

Como impactos positivos e benefícios para a sociedade advindos do presente trabalho, cabe-se destacar:

- Proposição de soluções para problemas existentes;
- Discussão acerca da aplicabilidade e conteúdo da norma nacional, em comparação com aspectos normativos estrangeiros;
- Levantamento de dados típicos de edificações brasileiras. A literatura nacional sobre o tema é tão escassa quanto inexistente;
- Inovação tecnológica, combinando ferramentas de mapeamento acústico com modelos de simulação e dimensionamento de isolamento acústico;

Até onde foi possível buscar na literatura, não foram encontrados estudos que apresentem resultados de medições de campo em comparação com a norma brasileira. Há dificuldade até mesmo de se encontrar dados construtivos acerca de isolamento acústico de materiais usados em larga escala na construção civil nacional, como janelas de vidros simples e portas ocas de madeira, por exemplo. No Brasil, poucos estudos pontuais abordam assuntos específicos apresentados neste trabalho, ressaltando a carência de estudos e informações sobre este problema de engenharia, há décadas estudado e avaliado por países europeus, Estados Unidos, Canadá, Austrália, entre outros (SILVA, 2000; RECCHIA, 2001; FERREIRA, 2004; SCHERER, 2005; OLIVEIRA, 2007; POLLI, 2007; MICHALSKI, 2011).

O presente trabalho diferencia-se dos demais por apresentar uma visão global do problema ambiental, avaliando através de medições diversos tipos de fachadas, propondo medidas de controle e mitigação da poluição sonora, abordando aspectos normativo-políticos inerentes ao assunto e propondo uma metodologia combinada (mapeamento acústico e *softwares* de simulação) para o dimensionamento do isolamento sonoro de edificações.

1.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O tema tratado nesta pesquisa é bastante amplo, sendo proposta uma abordagem integrada de medições *in situ* e dois tipos de simulações computacionais. Como o foco do trabalho é o ruído ambiental, esta pesquisa concentra-se apenas no isolamento sonoro de fachadas, como forma de controle à poluição sonora. O isolamento sonoro entre cômodos internos e entre andares de edifícios não é abordado, sendo assunto recorrente nas pesquisas de arquitetura e construção civil.

Medições de isolamento sonoro de fachadas necessitam do consentimento dos ocupantes das edificações para que sejam realizadas. Desta forma, foram selecionadas, preferencialmente, habitações de amigos próximos ou de colegas do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da UFPR, dispostos a colaborar com o processo das medições.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo analisar qualitativa e quantitativamente o desempenho acústico de residências e outras edificações de Curitiba - PR, através de medições e simulações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estão listadas a seguir as etapas que foram realizadas para o cumprimento do objetivo geral:

- Determinação, através de medições e cálculos, dos níveis de isolamento sonoro de diferentes fachadas de edificações em Curitiba;
- Comparação dos níveis de isolamento sonoro de fachada das edificações com as normas (nacionais e internacionais), de modo a determinar a conformidade ou desconformidade com o disposto no conteúdo normativo;
- Identificação dos problemas de isolamento sonoro em fachadas de baixo desempenho acústico;
- Avaliar simulações computacionais a fim de propor soluções, quando necessário, visando ao enquadramento dos índices de isolamento sonoro de fachadas nos valores aceitáveis conforme as normas;
- Desenvolvimento de uma visão global sobre o problema, levantando questionamentos acerca da aplicabilidade das normas, medidas de controle de ruído e sugestão de técnicas para o dimensionamento acústico de fachadas;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que haja uma melhor compreensão, serão revisados os principais conceitos físicos envolvidos no trabalho.

3.1 SOM E RUÍDO

O som pode ser descrito como a passagem de flutuações de pressão através de um meio elástico, como resultado de um impulso vibracional transmitido àquele meio. Um sinal acústico pode surgir de diversas fontes como, por exemplo, turbulência do ar ou de outro gás, a passagem de um corpo através de um fluido ou o impacto de um sólido com outro sólido (RAICHEL, 2000).

Som é qualquer fenômeno no qual ocorram de 20 a 20 mil oscilações por segundo, que são perceptíveis ao ouvido humano dentro desta faixa (GERGES, 1992). Outros autores, como Möser (2004), sugerem uma faixa entre 16 e 16 mil oscilações por segundo.

Ruído pode ser definido como um som indesejável, normalmente decorrente das atividades humanas. Desta forma, som e ruído constituem o mesmo fenômeno físico, sendo distinguido apenas por uma percepção subjetiva (GOELZER *et. al.*, 2001).

3.2 ONDAS

Fisicamente, uma onda é um pulso energético que se propaga através do espaço ou através de um meio (líquido, sólido ou gasoso). Uma onda é uma perturbação oscilante de alguma grandeza física no espaço e periódica no tempo (KINSLER *et. al.*, 1982).

As ondas podem ser classificadas em três tipos de acordo com a direção de propagação. Ondas unidimensionais propagam-se numa só direção, como ondas em uma corda. Ondas bidimensionais são aquelas que se propagam num plano, como ondas na superfície de um lago. Por fim, ondas tridimensionais são aquelas que se propagam em todas as direções, como é o caso das ondas sonoras (HALLIDAY *et. al.*, 2003).

Quando uma partícula de ar é deslocada, as forças elásticas do ar tendem a recolocá-la em sua posição original. Por causa da inércia da partícula, esta ultrapassa sua posição de repouso, gerando forças elásticas na direção oposta e assim em diante (KINSLER *et. al.*, 1982; EVEREST, 2001).

3.2.1 Propriedades físicas das ondas

A seguir segue uma breve definição conceitual sobre as propriedades físicas *frequência*, *período* e *comprimento de onda*, necessárias à compreensão subsequente do texto:

- Frequência é o número de ciclos que ocorrem no tempo:

$$f = \frac{n}{t} \quad (1)$$

Onde:

f – frequência, Hz;

n – número de ciclos;

t – tempo, s;

Quanto menor a frequência da onda, mais grave o som. Quanto maior a frequência, mais agudo o som que chega a nossos ouvidos (KINSLER *et. al.*, 1982; GERGES, 1992; VALLE, 2009).

- Período é o inverso da frequência, ou seja, quanto tempo leva para uma onda completar um ciclo completo (HALLIDAY *et. al.*, 2003):

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Onde:

T – período, s;

f – frequência, Hz;

- Comprimento de onda (λ) é a distância, em metros, entre dois pontos similares de ondas consecutivas (SEARS; ZEMANSKY, 2009).

3.3 PROPRIEDADES DO SOM

Segue a explanação de conceitos referentes aos fenômenos audíveis, para que haja uma melhor compreensão do trabalho:

3.3.1 Fonte sonora

Considera-se uma fonte sonora o sistema, corpo ou objeto de onde se origina um som. As fontes sonoras podem ser pontuais, em linha ou em área (HASSAL; ZAVERI, 1979).

3.3.2 Nível de pressão sonora

A pressão do som decorre de oscilações de partículas em um meio elástico acima e abaixo do seu ponto de equilíbrio. Estas variações de pressão são percebidas pelo ouvido humano em níveis bastante baixos (cerca de 20 μPa). Entretanto, o nível de pressão sonora pode variar dentro de uma vasta gama de magnitudes (40 kPa no limiar da dor), fazendo com que seja mais conveniente o uso do decibel [dB] como medida de intensidade do som (GERGES, 1992; RAICHEL, 2000).

O nível de pressão sonora, L_p , é dado por (KINSLER *et. al.*, 1982; GERGES, 1992):

$$L_p = 10 \log \frac{P_e^2}{P_o^2} \quad (3)$$

Onde:

L_p – nível de pressão sonora, dB;

P_e – pressão efetiva medida da onda sonora, Pa;

P_0 – pressão de referência, = 2×10^{-5} Pa (limiar mínimo da audição em 1000 Hz);

A figura 1, a seguir, apresenta o nível de pressão sonora de diferentes fontes sonoras:

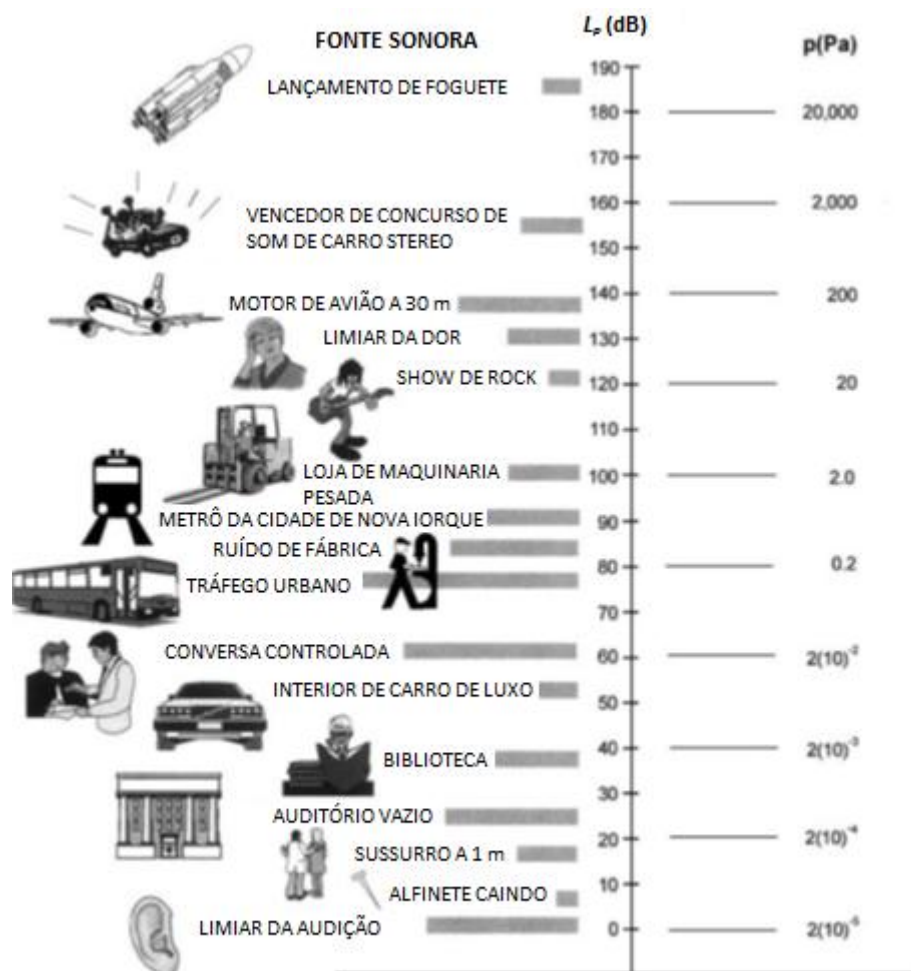


FIGURA 1 – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (SPL) DE DIFERENTES FONTES SONORAS

FONTE: Adaptado de Raichel (2000).

3.3.3 Potência sonora

Potência sonora, W , expressa em watts [W], é definida como a quantidade de energia irradiada por uma fonte sonora por unidade de tempo (VALLE, 2009; BISTAFA, 2006).

A razão entre duas potências sonoras pode ser expressa em função da diferença entre dois níveis de pressão sonora, conforme a seguir (VALLE, 2009):

$$\Delta_p = 10 \log \frac{W_2}{W_1} \quad (4)$$

Onde:

Δ_p – variação do nível de pressão sonora, dB;

W_1 – potência sonora 1, W;

W_2 – potência sonora 2, W;

3.4 FUNDAMENTOS DE ACÚSTICA

Acústica é o ramo da física que estuda o som. Fenômenos como a criação do som, transmissão sonora e os efeitos do som sobre materiais inertes e seres vivos são objetos de estudo da ciência da acústica (RAICHEL, 2000; VALLE, 2009).

Quando uma onda sonora encontra uma superfície, podem ocorrer os fenômenos de reflexão, absorção, difração e transmissão sonora, listados a seguir:

3.4.1 Reflexão sonora

Ocorre uma reflexão sonora quando a energia acústica proveniente da onda incidente retorna ao meio de origem, total ou parcialmente (HASSAL; ZAVERI, 1979).

Durante o processo de reflexão sonora, a onda retorna ao ambiente com um ângulo igual ao de incidência sobre a superfície (VALLE, 2009).

3.4.2 Absorção sonora

A absorção sonora ocorre quando a energia acústica da onda sonora é transformada em energia térmica absorvida pela superfície, não sendo refletida de volta para o meio incidente (LONG, 2006).

3.4.3 Difusão sonora

Quando as ondas sonoras não são absorvidas, mas sim espalhadas para todas as direções pela superfície atingida de forma aleatória, verifica-se o fenômeno da difusão sonora (CARVALHO, 2010).

3.4.4 Transmissão sonora

Ocorre a transmissão sonora quando a energia acústica, ou parte desta, é conduzida através da superfície de incidência, surgindo do outro lado da mesma (LONG, 2006).

3.5 CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

Condicionar acusticamente um recinto consiste em proporcionar uma sonoridade agradável dentro do mesmo, compatível com o uso do ambiente, através do controle de parâmetros como reverberações, ecos, aspectos modais, resposta de frequências entre outros (VALLE, 2009).

Abaixo estão citados e brevemente explanados alguns parâmetros relacionados ao condicionamento acústico.

3.5.1 Ruído de fundo

Ruído de fundo é a quantidade de som que existe em uma sala vazia sem nenhuma fonte sonora intencionalmente utilizada como tal. Esse ruído é proveniente de fontes sonoras externas à sala ou de fontes de ruído internas como computadores e aparelhos de ar condicionado (HUBER, 2002).

3.5.2 Reverberação

Reverberação é formada pelas ondas sonoras que atingem o ouvinte através de reflexões ocorridas em anteparos do ambiente. Um som reverberado

pode ser dividido em três componentes: o som direto, as primeiras reflexões e a reverberação em si (também chamada de reflexões tardias ou campo difuso) (HUBER, 2002).

O fenômeno da reverberação ocorre quando há muitas reflexões em todas as áreas de um ambiente fechado ou semifechado. Essas reflexões acontecem em intervalos curtos de tempo (milissegundos entre as reflexões), em todas as direções, com um padrão quase aleatório. Quando estas características de reflexão estão presentes, ocorre o fenômeno da difusão sonora (campo difuso), responsável pela reverberação (VALLE, 2009).

3.5.3 Tempo de reverberação

Determinado por Wallace Sabine em 1900, tempo de reverberação (TR) é o tempo necessário para que um impulso sonoro intenso produzido numa sala diminua sua amplitude em 60 dB (LONG, 2006).

O tempo de reverberação varia de acordo com a frequência e, portanto, para diferentes frequências têm-se diferentes tempos de reverberação dentro da sala (EVEREST, 2001).

O tempo de reverberação é definido pela Fórmula de Sabine (RAICHEL, 2000; EVEREST; POHLMANN, 2009; VALLE, 2009):

$$T = \frac{0,161 V}{A} \quad (5)$$

Onde:

T – tempo de reverberação, s;

V – volume da sala, m³;

A – absorção total da sala, = $\sum S_i \alpha_i$, m²;

S_i – área superficial de cada elemento da sala (forro, piso, paredes, mobília, etc.), m²;

0,161 – constante, s/m;

α_i – coeficiente médio de absorção sonora correspondente de cada elemento;

3.6 ISOLAMENTO SONORO

Isolamento sonoro é a capacidade de um ambiente fechado ou semifechado de evitar a passagem de som de seu interior para seu exterior e vice-versa. O isolamento de um recinto consiste no bloqueio dos ruídos externos, até que se atinjam níveis internos adequados à atividade a ser desenvolvida. (VALLE, 2009; CARVALHO, 2010).

Existem duas formas de transmissão sonora:

1. Aérea – ocorre através de qualquer passagem aberta, quando a fonte de propagação atua no ar;
2. Estrutural – consiste na transmissão sonora pelo impacto e transmissão de paredes, lajes e outros pisos, sendo que até o solo pode transmitir a vibração de veículos, especialmente os mais pesados (SILVA, 2000);

É importante salientar que uma grande parte da energia acústica pode ser transmitida através de imperfeições construtivas como frestas, folgas entre janelas e portas, fechaduras, juntas, etc. Assim, estas não devem ser negligenciadas (ARIZEMENDI, 1980).

3.6.1 Parâmetros de isolamento sonoro

Diversos parâmetros descritivos de isolamento acústico são utilizados para diferentes casos em vários países, havendo ainda a possibilidade de acréscimo de termos corretivos aos mesmos (RASMUSSEN, 2009).

A seguir há uma breve descrição dos parâmetros R (índice de redução sonora) e $D_{2m,nT}$ (diferença de nível padronizada), necessários para a compreensão do presente trabalho.

1) Índice de redução sonora – R

O índice de redução sonora exprime a quantidade de energia acústica atenuada por um elemento de separação. O mesmo é dado por (ABNT, 2013; HOPKINS, 2007; ISO, 1998):

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (6)$$

Onde:

R – índice de redução sonora, dB;

W_1 – potência sonora incidente sobre o elemento de separação, w;

W_2 – potência sonora transmitida através do elemento de separação, w;

O índice de redução sonora é medido exclusivamente em laboratório com condições padronizadas, diferentemente do índice de redução sonora aparente – R' . Este é utilizado quando as medições são feitas em campo, situação em que as transmissões não ocorrem somente através do elemento de separação, mas também através de frestas, aberturas e elementos laterais (ISO 1998; HOPKINS, 2007; VITTORINO, 2013).

Em países de língua inglesa (e algumas vezes no Brasil), é comum o uso da notação TL (“*Transmission Loss*”) para denotar o R , sendo ambas equivalentes (ISO, 1998; MICHALSKI, 2011).

Estes índices (R e R') são utilizados quando se quer determinar o isolamento acústico fornecido por um elemento em específico, como uma porta ou janela. Desta forma, os mesmos apresentam uma diferença conceitual em relação à diferença padronizada de nível, $D_{2m,nT}$, apresentada a seguir. Esta determina o nível de isolamento sonoro de uma fachada como um todo, levando em consideração todos os seus elementos constituintes, como paredes, portas, janelas, etc. (ISO, 1998).

2) Diferença padronizada de nível – $D_{2m,nT}$

Para o isolamento sonoro de fachadas, é definido o parâmetro $D_{2m,nT}$ (diferença padronizada de nível), dado por: (ABNT, 2013; WERNER, 2009; ISO, 1998).

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log\left(\frac{T}{T_o}\right) \quad (7)$$

Onde:

$D_{2m,nT}$ – diferença de nível padronizada a 2 m de distância da fachada, dB;

$L_{1,2m}$ – nível de pressão sonora externo a 2 m em frente à fachada, dB;

L_2 – nível de pressão sonora médio da sala receptora, dB;

T – tempo de reverberação médio da sala receptora, s;

T_o – valor de referência do tempo de reverberação da sala receptora, = 0,5 s, s;

Este parâmetro é utilizado para a comparação dos valores de isolamento acústico de uma fachada, medidos em campo, com valores estipulados por normas nacionais e internacionais.

3.6.2 Determinação do isolamento sonoro de fachadas

Os procedimentos necessários para a medição em campo da diferença de nível padronizada de fachadas são estipulados pela ISO 140-5 “*Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*” (ISO, 1998).

Duas séries de métodos são especificadas pela norma:

1. Método dos elementos – utilizado para determinar o índice de redução sonora aparente dos elementos de uma fachada. Estes resultados avaliam os elementos separadamente (janelas, portas, etc.);
2. Método global – utilizado para determinar a redução sonora ao ruído externo de fachadas ou de toda uma edificação;

O presente trabalho valeu-se método global descrito na norma, já que o intuito é a avaliação da qualidade acústica de fachadas em edificações como um todo, e não de seus elementos de forma separada.

O parâmetro $D_{2m,nT}$ pode ter as siglas ls , tr , rt , e at subscritas, de acordo com a fonte de ruído utilizada em cada situação: alto falante, tráfego rodoviário, tráfego ferroviário e tráfego aeroviário, respectivamente.

A tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos através do método global (ISO, 1998; FERREIRA, 2004):

TABELA 1 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE FACHADAS

MÉTODO	RESULTADO	APLICAÇÃO
Global – alto falante	$D_{ls,2m,nT}$ $D_{ls,2m,n}$	Um alto falante é utilizado quando o ruído do tráfego externo à edificação não é intenso o suficiente.
Global – tráfego de rodovias	$D_{tr,2m,nT}$ $D_{tr,2m,n}$	Método preferencial para estimar o isolamento global de fachadas expostas ao ruído de tráfego de rodovias.
Global – tráfego de ferrovias	$D_{rt,2m,nT}$ $D_{rt,2m,n}$	Método preferencial para estimar o isolamento global de fachadas expostas ao ruído de tráfego de ferrovias.
Global – tráfego aéreo	$D_{at,2m,nT}$ $D_{at,2m,n}$	Método preferencial para estimar o isolamento global de fachadas expostas ao ruído de tráfego aéreo.

FONTE: ISO (1998).

Os métodos “Global – alto falante” e “Global – tráfego de rodovias” acima citados (descritos detalhadamente na norma ISO 140-5) foram utilizados, optando-se pelo mais apropriado a cada medição. Trabalhos anteriores destacaram a validade dos diferentes métodos descritos pela ISO 140-5,

reportando uma diferença de até ± 2 dB entre o uso do método global com alto falante e os métodos globais de tráfego (VERMEIR *et. al.*, 2004).

Ainda, a norma descreve em detalhes os procedimentos necessários às medições, como especificações e posicionamento dos microfones utilizados, além de minúcias e correções para casos específicos.

3.6.3 Número único de isolamento sonoro

Os valores dos níveis de isolamento sonoro de edificações variam ao longo de todo o espectro de frequências audíveis pelo ser humano. Entretanto, a fim de facilitar a comparação entre os níveis medidos em campo e os preconizados pelas normas, foram desenvolvidos métodos para a obtenção de um número único de isolamento acústico.

Um destes métodos é apresentado pela norma ISO 717-1 (ISO, 1996). Este procedimento normalizado permite a obtenção de um número único que representa, de forma simplificada, o resultado da medição de parâmetros acústicos realizada em bandas de frequências de oitavas ou de um terço de oitavas (ISO, 1996).

Para tal, é efetuada uma comparação entre a curva no espectro de frequências obtida através de medições em campo com uma curva padrão. Os valores da curva padrão estão apontados na tabela 2:

TABELA 2 – CURVA PADRÃO DE ACORDO COM A ISO 717-1

FREQUÊNCIA (Hz)	VALORES DE REFERÊNCIA (dB)	
	Bandas de 1/3 de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

FONTE: ISO (1996).

A curva de referência estabelecida pela norma foi obtida através da medição de uma parede de tijolos sem furos, com 25 cm de espessura. Para a obtenção do número único, a curva padrão deve ser deslocada em intervalos de 1 dB sobre a curva medida, de modo que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não ultrapasse 32 dB (medição em 16 bandas de 1/3 de oitava) ou 10 dB (medição em 5 bandas de oitava). Ocorre um desvio desfavorável em uma frequência em particular quando o valor da curva de medições é inferior ao valor da curva de referência. Apenas os desvios desfavoráveis devem ser levados em conta (ISO, 1996).

Após deslocar a curva de referência até a curva medida, conforme descrito no parágrafo anterior, deve-se considerar o valor da curva de referência para a frequência de 500 Hz. Este será o número único de isolamento acústico, utilizado para fins de comparação com as normas (ISO, 1996).

Para denotar o número único de isolamento acústico, a sigla w deve ser subscrita aos parâmetros $D_{2m,nT}$ e R , da forma que se segue (ISO, 1996; ABNT, 2013):

- $D_{2m,nT,w}$ – Diferença padronizada de nível ponderada. Assim, o parâmetro $D_{ls,2m,nT,w}$ refere-se, por exemplo, à diferença padronizada de nível ponderada, medida a 2 m de distância da fachada, utilizando um alto falante como fonte sonora;
- R_w – Índice de redução sonora ponderado.

Visto que a determinação do número único de isolamento acústico não é um procedimento trivial, a seção 3.6.4 abaixo exemplifica o método através de um exemplo calculado.

3.6.4 Exemplo de cálculo da diferença padronizada de nível ponderada

A figura 2 apresenta uma curva de isolamento sonoro, obtida através da medição em campo em bandas de frequência de 1/3 de oitava (linha preta com pontos) e a curva padrão deslocada (linha roxa).

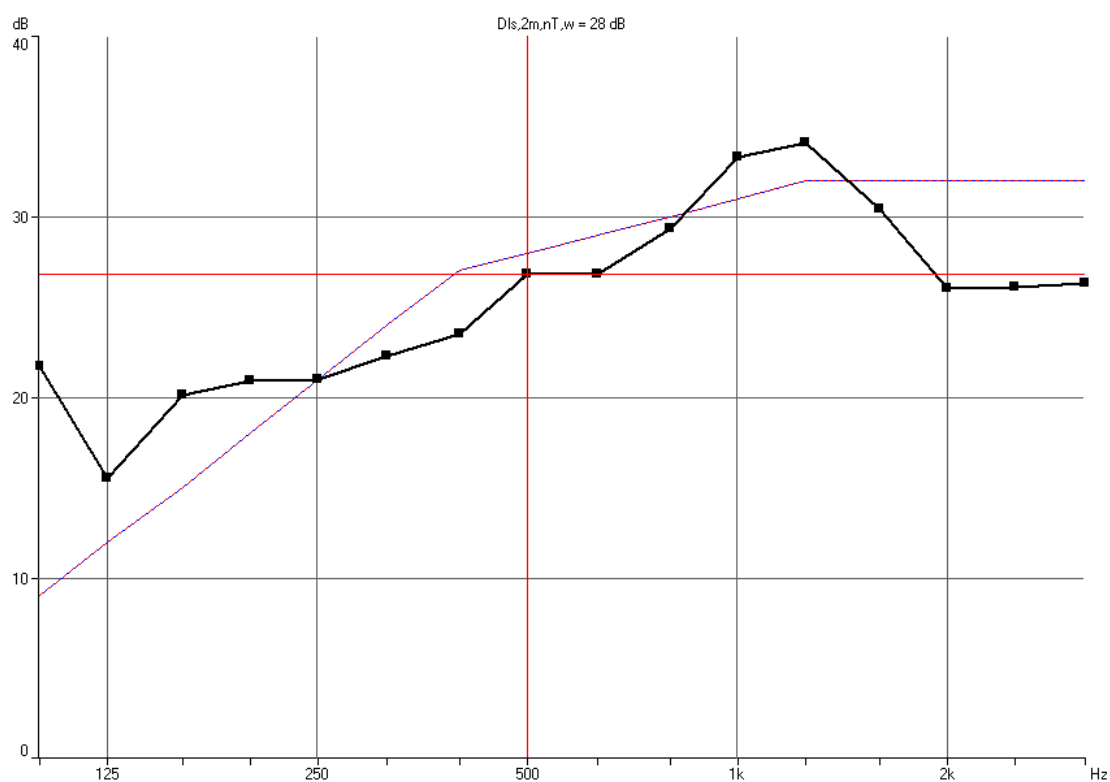


FIGURA 2 – CURVA MEDIDA EM CAMPO X CURVA PADRÃO DESLOCADA

FONTE: O autor (2013).

A tabela 3 apresenta os valores referentes à figura 2, necessários para a obtenção da diferença padronizada de nível ponderada. A coluna $D_{2m,nT}$ é calculada através da equação (7), com os dados presentes nas colunas $L_{1,2m}$, L_2 e T . A curva de referência foi deslocada em 24 dB para baixo, até que a soma dos desvios desfavoráveis fosse a maior possível, sem ultrapassar o limite de 32 dB. O valor 28 dB, referente à curva de referência deslocada em 500 Hz, é a diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$.

TABELA 3 – EXEMPLO DE CÁLCULO DE $D_{Is,2m,nT,w}$

Frequência (Hz)	$L_{1,2m}$ (dB)	L_2 (dB)	T (s)	$D_{2m,nT}$ (dB)	Curva de Referência (dB)	Curva de Referência deslocada (dB)	Diferença (dB)
100	70,73	50,5	0,69	21,7	33	9	-12,7
125	66,95	53	0,71	15,5	36	12	-3,5
160	72,15	53,73	0,74	20,1	39	15	-5,1
200	73,52	55,06	0,88	20,9	42	18	-2,9
250	79,38	60,77	0,87	21	45	21	0
315	74,12	54,82	0,99	22,3	48	24	1,7
400	69,43	49,48	1,14	23,5	51	27	3,5
500	73,48	50,42	1,17	26,8	52	28	1,2
630	76,17	53,18	1,19	26,8	53	29	2,2
800	79,03	53,68	1,25	29,3	54	30	0,7
1000	82,95	53,99	1,36	33,3	55	31	-2,3
1250	82,22	52,72	1,45	34,1	56	32	-2,1
1600	81,04	55,26	1,44	30,4	56	32	1,6
2000	83,12	61,51	1,38	26	56	32	6
2500	85,87	63,73	1,25	26,1	56	32	5,9
3150	88,65	65,75	1,1	26,3	56	32	5,7
Soma dos desvios desfavoráveis:							28,5

FONTE: O autor (2013).

3.6.5 Escala de qualificação do isolamento

Existem escalas qualificando o isolamento acústico segundo o comportamento de suas perdas de transmissão, como a de GOMEZ (1988) a seguir:

TABELA 4 – QUALIFICAÇÃO DO ISOLAMENTO

Qualificação do Isolamento	R_w (dB)	Condições de Audição
Pobre	< 30	Compreende-se a conversação normal facilmente através da parede
Regular	30 a 35	Ouve-se a conversação em voz alta, mas não se entende bem a conversação normal
Bom	35 a 40	Ouve-se a conversação em voz alta, mas não é facilmente inteligível
Muito Bom	40 a 45	A palavra normal é inaudível e, em voz alta, é muito atenuada, sem compreensão
Excelente	> 45	Ouve-se muito fracamente os sons muito altos

FONTE: GOMEZ (1988).

3.6.6 Isolamento acústico de elementos

Durante a elaboração desta dissertação, foi notável a dificuldade em encontrar o valor do índice de redução sonora de elementos, especialmente daqueles utilizados exclusivamente na construção civil brasileira e latino-americana, cujos dados construtivos são raramente estudados e/ou divulgados por países europeus e norte-americanos.

Desta forma, é apresentada uma tabela no Anexo I, com elementos construtivos comumente encontrados na construção civil nacional e seus respectivos índices de redução sonora. A tabela é uma compilação de todos os dados obtidos até onde foi possível chegar com esta pesquisa, com o propósito de facilitar o trabalho de outros pesquisadores e colegas da área, além de oferecer um respaldo e uma orientação a toda a sociedade, consumidora destes bens de uma forma geral.

Foram incluídos ainda a qualificação do isolamento de acordo com a escala de GOMEZ (1988), o valor de mercado (pesquisado em 2013) de alguns elementos e a fonte dos mesmos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentada uma revisão sobre toda a literatura pesquisada para a elaboração desta dissertação.

4.1 IMPACTOS CAUSADOS PELO RUÍDO

O ruído é responsável direto por vários danos à saúde humana e pela desvalorização de imóveis. Este poluente está relacionado também a interferências nas comunicações e a efeitos indesejados sobre animais domésticos e sobre a vida selvagem (CHEREMISINOFF, 1996).

4.1.1 Danos causados à saúde

As atividades humanas estão sujeitas ao ruído de forma continuada. Este é apontado como um grande deteriorador da qualidade de vida (BISTAFA, 2006). Com o crescimento das grandes cidades e o aumento do número de carros, este problema tende a acentuar-se, já que o ruído de tráfego é apontado pela população como o principal causador de incômodo relacionado ao ruído (ZANNIN *et. al.*, 2002).

O ruído é reconhecido hoje pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma preocupação para a saúde pública e ambiental (WHO EUROPEAN CENTRE FOR ENVIRONMENT AND HEALTH, 2011). O mesmo é causador de diversos efeitos negativos, tais como distúrbios do sono, redução de oportunidades de repouso, diminuição da produtividade, deterioração da qualidade de vida, distúrbios digestivos, falta de concentração, fadiga, aumento da pressão arterial, irritabilidade, estresse e perda da audição. Níveis de pressão sonora acima de 120 dB produzem dor física ao ouvido humano (BELOJEVIC; JAKOVLEVIC, 1997; MASCHKE, 1999; LONG, 2006).

Desta forma, fica claro que a redução e o controle do ruído são necessários não apenas por questões de conforto, mas também para que se atenuem efeitos sanitários adversos (COM, 2008).

Deve-se ressaltar que a severidade com que o ruído atua na saúde humana depende da intensidade e do tempo de exposição ao mesmo. A tabela 5 a seguir apresenta efeitos negativos causados pelo ruído de acordo com sua intensidade:

TABELA 5 – EFEITOS CAUSADOS PELO RUÍDO

Nível de pressão sonora	Efeito negativo
100 dB(A)	Pode haver perda de audição
80 dB(A)	Ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo
70 dB(A)	Nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções e outras patologias
A partir de 55 dB(A)	Pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto
Até 50 dB(A)	O ruído pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele

FONTE: Adaptado de Berglund *et. al.* (1999).

4.1.2 Desvalorização de imóveis

O mercado imobiliário vem alertando sobre o alto custo da poluição sonora. Corretores sugerem que os ruídos do cotidiano – que excedem os limites aceitáveis por lei nas grandes cidades – chegam a desvalorizar os imóveis em até 30% (O GLOBO, 2012).

Um estudo conduzido por Lake *et. al.* (1998) estimou que, para cada 1 dB de ruído acima do permissível por lei, há uma desvalorização de 1,07% sobre o valor imobiliário de residências em Glasgow, Escócia. Rasmussen (2004) determinou que 60% da população sueca pagaria 10% mais caro para ter um isolamento sonoro melhor.

No Brasil, trabalhos anteriores evidenciaram a má qualidade acústica de imóveis brasileiros (FERREIRA, 2004; OLIVEIRA, 2007; POLLI 2007). Todas as residências avaliadas em Curitiba por Ferreira (2004) apresentaram valores para

o índice de redução sonora aparente das fachadas abaixo dos aceitáveis pela norma alemã DIN 4.109 (DIN, 1989).

Construtores não levam em conta o conforto acústico na hora de projetar e construir residências. Não há diferença significativa entre índices de isolamento sonoro de imóveis de padrão elevado e padrão popular (FERREIRA; ZANNIN, 2007). Pessoas com condições financeiras para adquirir imóveis providos com maior conforto acústico não o fazem por desconhecimento ou falta de opções (FERREIRA, 2004; POLLI, 2007).

Como um agravamento à situação, um estudo de caso conduzido por Queiroz e Viveiros (2008) mostrou que houve um decréscimo significativo na qualidade do isolamento das fachadas frontais de residências avaliadas em Florianópolis. A linha de tendência do valor do índice de redução sonora R_w decresceu em aproximadamente 4 dB entre os anos de 1968 e 2005. A queda na qualidade acústica das edificações é atribuída ao material de revestimento e à coloração dos vidros e da pintura.

4.2 CONTROLE DE RUÍDOS

Apresentados os impactos decorrentes da exposição ao ruído, fica evidente a necessidade de controlar os mesmos. Tão logo suspeite-se de um problema de ruído, medidas devem ser tomadas para a sua mitigação.

Em um primeiro momento, deve-se fazer uma avaliação do ruído existente. Esta avaliação pode ser feita através de medições diretas ou elaboração de mapas de ruído. Caso o ruído presente em determinada área encontre-se dentro dos parâmetros estabelecidos por leis e regulamentos de saúde não há risco evidente. Caso os níveis de ruído excedam os determinados pelos critérios, é preciso lançar mão de técnicas para o controle dos mesmos.

As áreas de riscos devem ser tratadas através da redução do nível de pressão sonora equivalente. Esta redução pode ser feita de duas formas: redução do tempo de exposição e/ou redução do nível de ruído, discutidas a seguir (GERGES, 1992):

1) Redução no tempo de exposição;

As técnicas que visam à redução no tempo de exposição ao ruído são úteis em ambientes laborais que expõem os colaboradores a níveis intensos de forma continuada, como uma indústria, por exemplo. Entre os procedimentos possíveis, cabe destacar os refúgios protegidos do ruído e a rotação da ocupação de cargos (no caso de uma indústria). Estas técnicas não são empregáveis em ambientes cuja principal fonte de ruído seja a poluição sonora (ruído externo, de tráfego, etc.).

2) Redução do nível de ruído;

Entre as técnicas existentes que visam à redução do nível de ruído, cabe destacar: redução do ruído na fonte, redução no meio de propagação e proteção da audição. A redução do ruído na fonte consiste no enclausuramento das fontes de ruídos ou na fabricação de fontes menos ruidosas, quando estas sejam máquinas (carros, eletrodomésticos, máquinas industriais, etc). A redução no meio de propagação pode ser obtida através do uso de barreiras acústicas (presentes em vias de tráfego ferroviário ou rodoviário em diversos locais do mundo) ou do fornecimento de isolamento sonoro adequado. A proteção da audição consiste no uso de protetores auditivos individuais (EPIs) por pessoas sujeitas a ruído intenso.

A figura 3, a seguir, apresenta um esquema com as medidas a serem tomadas visando ao controle de ruídos:

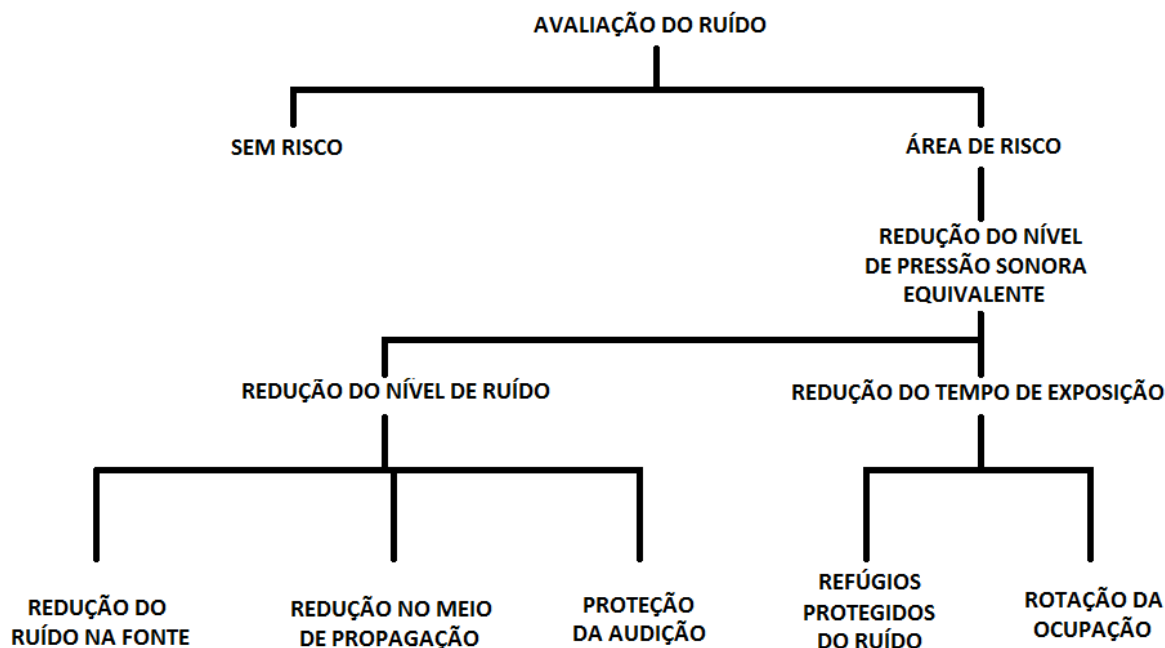


FIGURA 3 – METODOLOGIA PARA O CONTROLE DE RUÍDOS

FONTE: Adaptado de Gerges (1992).

O presente trabalho aborda o isolamento sonoro de edificações, inserido neste contexto como uma técnica de redução do nível de ruído que atua no meio de propagação. Esta ferramenta é útil quando a fonte de ruído predominante é a poluição sonora, advinda do ruído de tráfego ou ruído externo de outras fontes.

Podem-se destacar, ainda, outras medidas de controle de ruídos que atuam de uma forma mais geral, como a edição de leis e normas que estipulem critérios de avaliação de parâmetros relacionados à área (tempo de exposição máximo, nível de pressão sonora máximo, isolamento sonoro mínimo, etc.), campanhas de educação e conscientização acerca do problema e acompanhamento da população através de exames audiométricos (GERGES, 1992).

4.3 ASPECTOS NORMATIVOS

Leis que estipulam valores máximos para níveis de pressão sonora são ferramentas importantes para o controle do ruído. Entretanto, o desconhecimento e a passividade da população frente ao problema são

dificuldades que impedem um combate mais eficiente contra este tipo de poluição (BUNN *et. al.*, 2009).

Quando o estado ou município possui lei ou norma própria, esta deve ser observada e seguida. Caso contrário, aplica-se a NBR 10.151 - “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”. Vigora em Curitiba a Lei Municipal 10.625/02, que determina os máximos valores permitidos para níveis de pressão sonora (ABNT, 2000; CURITIBA, 2002).

De forma análoga aos níveis de pressão sonora, o estabelecimento de leis que estipulam valores a serem atendidos para o isolamento acústico de fachadas é uma importante ferramenta para o controle da poluição sonora (POLLI, 2007). Pesquisas anteriores mostram a insatisfação dos usuários brasileiros com relação ao conforto acústico das suas habitações. Mais de 73% das edificações estudadas por Martins *et. al.* (2004) foram classificadas como péssimas, ruins ou regulares no quesito referente ao conforto acústico. Não houve nenhuma considerada ótima.

Do ponto de vista normativo, o Brasil possui um atraso de anos em relação aos países desenvolvidos e até mesmo em relação a outros países latinos: Argentina e Chile têm documentos regulatórios sobre isolamento acústico desde 1985 e 1961, respectivamente. Normas técnicas sobre acústica possuem grande relevância, evidenciando a importância do isolamento. Textos de regulamentação são ferramentas de suma importância em questões de controle de poluição e de engenharia ambiental, também na área da acústica ambiental (GONÇALVES *et. al.*, 2003; NETO, 2012).

Neste contexto, entrou em vigor em 2012 a NBR 15.575, a qual traz na parte 4 (NBR 15.575-4 “Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas”) valores mínimos necessários para o isolamento sonoro de fachadas. Existem, ainda, normas internacionais que dispõem sobre o tema. É o caso do Decreto-Lei de Portugal nº 96/2008, que aprovou alterações sobre o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), impondo, entre outros requisitos acústicos, valores mínimos para o isolamento sonoro de fachadas de edificações em território português (PORTUGAL, 2007; PORTUGAL, 2008; ABNT, 2013).

As normas e leis supracitadas estão explicadas em maiores detalhes nas seções seguintes.

4.3.1 NBR 10.151/00

A NBR 10.151/00 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” especifica um método para a medição de ruído, apresentando correções para casos de ruídos com características diferenciadas. Determina também os níveis máximos permitidos, separados em dois períodos (diurno e noturno), independentemente da existência de reclamações de terceiros (ABNT, 2000).

A norma define o nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} [dB(A)] como o parâmetro a ser comparado com o nível de critério de avaliação (NCA), estando aquele sujeito a correções em casos específicos (ABNT, 2000).

Ainda, a NBR 10.151/00 aborda definições (nível de ruído ambiental, ruído com caráter impulsivo, ruído com componentes tonais, entre outras) e classifica os equipamentos de medição e sua calibração.

A tabela 6 apresenta os valores para o NCA segundo a norma:

TABELA 6 – NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A).

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

FONTE: ABNT (2000).

4.3.2 Lei Municipal 10.625/02

A Lei Municipal 10.625/02 de Curitiba dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. A referida lei apresenta os valores máximos aceitáveis para os níveis de pressão sonora equivalente, de acordo com o período do dia, sendo eles:

- Diurno – entre 07h01min e 19h00min;
- Vespertino – entre 19h01min e 22h00min;
- Noturno – entre 22h01min às 07h00min;

FONTE: CURITIBA (2002).

Curitiba está separada em diversas zonas de uso, segundo a Lei Municipal nº 9.800/00. A lei apresenta siglas como ZI (Zona Industrial), ZR-1 (Zona Residencial 1) e ZC (Zona Central), por exemplo. Estes códigos podem ser visualizadas na tabela 7 a seguir, estando estes dispostos em diferentes categorias com diferentes limiares de níveis de pressão sonora equivalente permitidos (CURITIBA, 2000).

TABELA 7 – NÍVEIS MÁXIMOS PERMITIDOS DE RUÍDO

ZONAS DE USO	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAÚNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE.	70 dB(A)	60 dB(A)	60 dB(A)

- * APA-SARU - Setor de Alta Restrição de Uso
- * APA-SMRU - Setor de Média Restrição de Uso
- * APA-ST - Setor de Transição
- * APA-SUE - Setor de Uso Esportivo
- * APA-SS - Setor de Serviço
- * CONEC - Setor Especial Conector - Conectora 1,2,3,4
- * SC-SF - Setor Especial Comercial Santa Felicidade
- * SC-UM - Setor Especial Comercial Umbará
- * SE - Setor Especial Estrutural
- * SE-AC - Setor Especial da Av. Affonso Camargo
- * SE-BR-116 - Setor Especial da BR-116
- * SE-CB - Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros
- * SE-CC - Setor Especial Centro Cívico
- * SE-CF - Setor Especial da Av. Comendador Franco
- * SEHIS - Setor Especial Habitação de Interesse Social

- * SEI - Setor Especial Institucional
- * SE-LE - Setor Especial Linhão do Emprego
- * SE-MF - Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto
- * SE-NC - Setor Especial Nova Curitiba
- * SE-OI - Setor Especial de Ocupação Integrada
- * SE-PE - Setor Especial Preferencial de Pedestres
- * SE-PS - Setor Especial do Pólo de Software
- * SEVC-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Coletoras
- * SEVS-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Setoriais
- * SE-WB - Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz
- * SH - Setor Histórico
- * ZC - Zona Central
- * ZOO - Zona de Ocupação Orientada
- * ZE-D - Zona Especial Desportiva
- * ZE-E - Zona Especial Educacional
- * ZEI-I (CIC) - Zona Especial de Indústria
- * ZE-M - Zona Especial Militar
- * ZES - Zona Especial de Serviços
- * ZI - Zona Industrial
- * ZR-1 - Zona Residencial 1
- * ZR-2 - Zona Residencial 2
- * ZR-3 - Zona Residencial 3
- * ZR-4 - Zona Residencial 4
- * ZR-AV - Zona Residencial Alto da Glória
- * ZR-B - Zona Residencial Batel
- * ZR-M - Zona Residencial Mercês
- * ZR-OC - Zona Residencial de Ocupação Controlada
- * ZUC-II - Zona de Urbanização Consolidada
- * ZR-SF - Zona Residencial Santa Felicidade
- * ZR-U - Zona Residencial Umbará
- * ZS-1 - Zona de Serviço 1
- * ZS-2 - Zona de Serviço 2
- * ZT-BR-116 - Zona de Transição BR - 116
- * ZT-MF - Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto
- * ZT-NC - Zona de Transição Nova Curitiba
- * Z-UM - Zona de Uso Misto

FONTE: CURITIBA (2000).

Percebe-se que a Lei Municipal 10.625/02 de Curitiba está em conformidade com a NBR 10151/00, sendo por vezes mais rigorosa. A lei classifica ainda as infrações, descreve os valores de penalizações e sanções em caso de descumprimento e aborda alguns casos específicos.

4.3.3 NBR 15.575-4

A NBR 15.575-4 “Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE” estipula métodos e valores para o desempenho de edificações em vários ramos: estrutural, segurança contra incêndio, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, controle antropodinâmico, adequação ambiental e outros (ABNT, 2013).

Quanto ao desempenho acústico, a NBR 15.575-4 apresenta uma tabela contendo os valores mínimos permissíveis para o isolamento sonoro de fachadas, dependendo da localização da habitação. A tabela 8, a seguir, contém os valores estipulados pela norma:

TABELA 8 – VALORES MÍNIMOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA, $D_{2m,nT,w}$, DE VEDAÇÃO EXTERNA DE DORMITÓRIO

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30

NOTA 1 Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.

NOTA 2 Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.

FONTE: ABNT (2013).

O anexo F da NBR 15.575-4 apresenta recomendações em relação a outros níveis de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada, complementando os valores contidos na tabela 8. Estas recomendações estão expostas na tabela 9 a seguir:

TABELA 9 – DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA DE VEDAÇÃO EXTERNA, $D_{2m,nT,w}$, PARA ENSAIOS DE CAMPO

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

M: Mínimo
Legenda: I: Intermediário
S: Superior

FONTE: ABNT (2013).

Ainda no anexo F da norma NBR 15575-4, há uma tabela contendo níveis de desempenho para o índice de redução sonora ponderado (R_w). A norma estabelece valores mínimos, intermediários e superiores a serem alcançados pelos elementos constituintes de fachadas, em ensaios de laboratórios. A tabela 10 a seguir traz os valores preconizados:

TABELA 10 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA PONDERADO, R_w , DE FACHADAS

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

M: Mínimo
Legenda: I: Intermediário
S: Superior

FONTE: ABNT (2013).

Para a verificação da conformidade segundo a norma brasileira, os valores medidos de isolamento sonoro de fachadas, determinados de acordo com a ISO 140-5, serão comparados a estes presentes nas tabelas 8 e 9. Os valores de R_w de elementos comumente utilizados na constituição de fachadas brasileiras, fornecidos pela literatura e por fabricantes, devem ser comparados aos expostos na tabela 10.

Convém lembrar que a norma NBR 15.575-4 entrou em vigor apenas em 2012, sendo modificada em 2013. Anteriormente, o Brasil não possuía uma norma técnica específica para a determinação da qualidade acústica de fachadas de habitações, sendo necessário que se fizesse uso de normas estrangeiras para fins de comparação. Na seção 4.3.4 a seguir é apresentada a norma RRAE, válida em Portugal desde 2008.

4.3.4 RRAE (Portugal)

É notável a diversidade de parâmetros para a avaliação de requisitos acústicos de edificações. Para a determinação do isolamento sonoro fornecido por fachadas há, além do parâmetro D_{nT} , os parâmetros R'_w e $D_{n,w}$. Estes três parâmetros são obtidos através de procedimentos diferenciados de medição, podendo ser acrescidos de cinco termos corretivos de acordo com a aplicação principal da medição (ISO, 1998). Desta forma, há quinze parâmetros combinados utilizados de forma diferenciada em vários países, causando dificuldades na troca de informação e experiência e no desenvolvimento de ferramentas para além das fronteiras nacionais (RASMUSSEN; RINDEL, 2009).

Sabendo desta dificuldade, foi escolhido o RRAE (*Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios*), vigente em território português, para comparação dos resultados obtidos nas medições em campo deste trabalho. O motivo da escolha é o regulamento de Portugal utilizar o mesmo parâmetro de comparação para o isolamento sonoro de fachadas que a NBR 15.575-4 – diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$.

Vale ressaltar que se faz necessário o uso de normas estrangeiras para avaliar a qualidade acústica de edificações, já que a norma nacional – NBR 15.575 – contempla exclusivamente requisitos para dormitórios de residências.

Não existe nenhum regulamento válido em todo o território brasileiro que disponha sobre requisitos de isolamento acústico para hospitais, salas de aula, escritórios, igrejas ou outros tipos de edificações.

O RRAE de Portugal estabelece valores mínimos para a diferença padronizada de nível ponderada, a serem atingidos de acordo com o tipo e o zoneamento da edificação. Para determinar o zoneamento de cada edificação, é necessário que se consulte o Registro Geral de Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei nº9 de 2007 de Portugal. Este estipula o zoneamento de áreas urbanas de acordo com o uso do solo, conforme a seguir (PORTUGAL, 2007):

- Zonas sensíveis – área definida no plano municipal de ordenamento do território destinada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais e similares ou espaços de lazer. Podem conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinados a servir a população local, como cafés e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno.
- Zonas mistas – área definida no plano municipal de ordenamento do território destinada a outros usos, diferentes dos referidos na definição de zona sensível.

FONTE: PORTUGAL (2007).

A tabela 11 a seguir apresenta os valores mínimos para a diferença padronizada de nível ponderada, estipulados pelo RRAE de acordo com a edificação e o zoneamento:

TABELA 11 – VALORES MÍNIMOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA, $D_{2m,nT,w}$, PARA FACHADAS DE DIFERENTES TIPOS DE EDIFICAÇÃO

Tipo de edificação	Loteamento	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
Edifícios habitacionais e mistos / unidades hoteleiras	zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do nº 1 do artigo 11.º do RGR	≥ 33
	zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do nº 1 do artigo 11º do RGR	≥ 28
Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais	-	≥ 25
Escritórios	-	≥ 30

Edifícios escolares e similares, e de investigação	zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do RGR	≥ 33
	zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11º do RGR	≥ 28
Edifícios hospitalares e similares	zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do RGR	≥ 33
	zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11º do RGR	≥ 28

FONTE: PORTUGAL (2008).

4.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA NBR 15.575-4

Durante a elaboração desta dissertação, algumas dificuldades e dúvidas surgiram a respeito da NBR 15.575-4, na parte concernente ao isolamento sonoro de edificações.

O Brasil não possuía nenhum texto técnico regulador com valor de norma em relação a este tema desde a edição da NBR 15.575-4, que sofreu alterações e entrou em vigor com texto revisado em 2013. A edição da mesma é ação inovadora no país, fazendo com que se diminua a negligência em relação ao conforto acústico de edificações. Esta seção apresenta uma série de críticas construtivas e sugestões com o objetivo de melhorar o conteúdo existente na norma.

Em primeiro lugar, a norma nacional fala exclusivamente em dormitórios. Entende-se que dormitórios são quartos de residências, unidades hoteleiras e de hospitais ou outras edificações da área de saúde, onde uma pessoa passará o tempo com o intuito de dormir. Entretanto, outros ambientes de habitações e outros tipos de edificações não foram abordados na norma, fazendo com que ainda seja necessário o uso de normas regulamentadoras estrangeiras para a comparação de níveis de isolamento sonoro medidos.

Contudo, estas normas estrangeiras não tem poder legal em território brasileiro, fazendo com que construtoras e outros setores da construção civil nacional não tenham obrigação formal quando do dimensionamento do isolamento sonoro de salas de aula, escritórios, prédios comerciais, hospitais, prédios da área de saúde, recintos esportivos, igrejas e templos de adoração, entre outros tipos de edificações.

A palavra “dormitório” é problemática mesmo quando se consideram apenas unidades habitacionais. A distribuição dos aposentos do lar em relação ao seu espaço geométrico é um critério subjetivo que cabe ao morador. Este determina onde irá dormir, onde irá fazer suas refeições, que áreas da casa servirão para fins de estudo, lazer, etc. Uma reforma interna em uma residência pode transformar em dormitório uma área que antes era prevista para ter outro uso. Ainda, não há razões para que a unidade habitacional como um todo não forneça conforto acústico ao ocupante. Atividades cotidianas como leitura, estudos, alimentação e lazer também precisam de níveis de pressão sonora adequados para que sejam executadas corretamente e de forma ergonômica.

Esta discussão é pertinente visto que não há mecanismos legais que exijam dos setores de arquitetura e construção civil o cuidado com o isolamento sonoro de toda uma habitação. Os mesmos podem vender apartamentos e casas que forneçam isolamento sonoro de fachadas adequado apenas aos aposentos destinados como dormitórios na planta, não garantindo ao consumidor condições de conforto em toda a edificação, como há décadas acontece nos países desenvolvidos. A sugestão é que a palavra “dormitório” seja substituída no texto da norma por outra com uma abrangência maior, como “habitação”, por exemplo (ver tabelas 8, 9 e 10 para um maior esclarecimento da sugestão).

Em segundo lugar, o critério para o enquadramento da habitação em relação à classe de ruído é subjetivo e pouco claro, causando divergências interpretativas. Durante a elaboração desta dissertação de mestrado, fachadas de habitações localizadas em zonas residenciais tranquilas foram avaliadas. Entretanto, não se pode dizer que as mesmas estejam enquadradas na classe de ruído I de acordo com a NBR 15.575-4 (“habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas”), visto que o ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aeroviário são fontes intensas – apesar de nestes casos não estarem presentes de forma contínua. Assim, houve um entendimento de que estas habitações estão enquadradas na classe de ruído II (“habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III”). A interpretação que foi dada à norma é de que apenas chácaras, fazendas e casas de campo seriam habitações com enquadramento possível na classe de ruído I. Entretanto, não há certeza de que o entendimento dos redatores da ABNT na hora da concepção do texto da norma fosse esse. Sugere-

se que o texto referente às classes de ruído da norma técnica fosse reescrito, com o fim de elucidar essas divergências interpretativas que surgem com o texto atual. Outra solução possível seria adotar uma classificação quantitativa das classes de ruído, de acordo com o nível de pressão sonora existente no local.

Ainda sobre as classes de ruído, há um questionamento que pode ser feito sobre a classe III, que apresenta um possível paradoxo. O texto da norma traz como classe III: “Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação”. Entretanto, é sabido que edificações sujeitas a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas muitas vezes não estão de acordo com a legislação. Diversos trabalhos recentes trouxeram à tona o problema de níveis de ruído acima do permitido por lei em Curitiba (BUNN, 2010; ENGEL, 2012; BUNN, 2013; FIEDLER, 2013).

Uma visão mais global sobre o problema do ruído nas grandes cidades aponta para o fato de que a solução do mesmo passa por várias medidas de controle, atuando nas fontes de ruído, no caminho de propagação e no receptor da fonte. O isolamento acústico está inserido neste contexto como uma medida atuante no caminho de propagação, atenuando as consequências maléficas da exposição excessiva ao ruído em ocupantes de edificações. Ademais, níveis mais altos de ruído externo exigem níveis mais elevados de isolamento sonoro para que se atinja o conforto. A norma alemã DIN 4.109, por exemplo, traz uma tabela relacionando o nível mínimo de isolamento sonoro a ser atingido em relação ao nível de ruído de tráfego externo, conforme a seguir:

TABELA 12 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE FACHADA EM FUNÇÃO DO NÍVEL EXTERNO DO RUÍDO DE TRÁFEGO

Ruído externo L_{eq} (dB)	Salas de estar, dormitórios, salas de aula e similares R'_w mínimo da fachada (dB)
Até 55	30
55 até 60	30
61 até 65	35
66 até 70	40
71 até 75	45
76 até 80	50
Maior que 80	Especificação especial

FONTE: DIN (1989).

Tabelas como esta são mais interessantes do que o texto da norma brasileira quando se objetiva o controle de ruído, pois fornece aos consumidores e profissionais ligados à construção civil respaldo e referência capazes de atenuar o problema do ruído urbano (DIN, 1989).

Em terceiro lugar, questiona-se o porquê de a NBR 15.575-4 apresentar o parâmetro $D_{2m,nT,w}$ como o parâmetro a ser avaliado no corpo do texto, e nos anexos (Anexo F da norma), apresentar uma tabela mostrando valores mínimos a serem atendidos pelo parâmetro R_w . A maioria das normas internacionais trabalha com apenas um parâmetro, com o intuito de não causar confusões e padronizar o método de medição utilizado por consultores e órgãos reguladores.

Em acréscimo, é demonstrado na literatura que a relação apresentada pela norma brasileira em relação aos dois parâmetros supracitados não tem sentido físico: os valores mínimos a serem atendidos em relação ao parâmetro R_w são os mesmos a serem atendidos pelo parâmetro $D_{2m,nT,w}$, acrescidos em 5 dB para todas as situações – conforme demonstrado pelas tabelas 9 e 10 (RASMUSSEN, 2004; HOPKINS, 2007; RASMUSSEN; RINDEL, 2009). Vale ressaltar, ainda, que o índice de redução sonora – R_w – é obtido exclusivamente através de medições de laboratório, e não em medições de campo. A sugestão para contornar essa aparente incoerência é a mais óbvia possível: eliminar do Anexo F da NBR 15.575-4 as tabelas F.11 e F.12, referentes ao índice de redução sonora ponderado – R_w .

4.5 MODELOS DE CÁLCULO DE ISOLAMENTO SONORO

O isolamento sonoro de edificações deve ser dimensionado de forma a atender a um nível mínimo desejado e de não gastar recursos e materiais desnecessariamente (superdimensionamento). Para que se determine este ponto ideal do isolamento sonoro, faz-se uso de modelos teóricos e empíricos de cálculo.

Estes modelos estimam os níveis de isolamento sonoro de acordo com as geometrias e materiais de elementos de separação e de edificações. Existem desde modelos de cálculo mais simples (como a *Lei da Massa*) até modelos mais complexos (como o *Método de Análise Estatística Energética*), todos com suas aplicabilidades e restrições. Na prática, é comum que se faça o uso de simulação

computacional em trabalhos acadêmicos ou de consultoria para que se determine o dimensionamento do isolamento sonoro de elementos de construções (FERREIRA; ZANNIN, 2007; VALLE, 2009).

4.5.1 EN 12.354 e *software Bastian*

Durante a elaboração desta dissertação, foi utilizado o *software BASTIAN* v2.3.88 para o dimensionamento do isolamento sonoro de edificações. O *software* baseia-se nas normas europeias EN 12.354-3 e EN 12.354-1, que apresentam métodos de cálculo para a simulação do isolamento sonoro de fachadas e para a predição do nível de isolamento acústico entre cômodos, respectivamente (E.N., 2000). Os motivos da escolha foram a precisão do modelo de cálculo e a disponibilidade do *software BASTIAN* no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA), da UFPR.

Estes métodos de cálculo utilizam primariamente dados medidos para caracterizar a transmissão direta ou indireta (através de elementos de flanco) pelos elementos construtivos participantes do isolamento. São utilizados, também, métodos de propagação sonora em elementos estruturais derivados teoricamente (E.N., 2000).

A precisão do modelo depende da precisão dos dados de entrada, dos tipos de elementos envolvidos, da geometria da situação, etc (SAARINEN, 2000). No corpo do texto da seção *Accuracy* da norma, é ressaltado que estes modelos de cálculo presumem boa qualidade do acabamento de obra nas edificações: “*the calculation models predict the measured performance of buildings, assuming good workmanship (...)*” (E.N., 2000).

Trabalhos anteriores foram publicados por diversos autores, comprovando a eficácia do *software* e do método de cálculo para a predição e/ou simulação de isolamento acústico de edificações (SIMMONS, 2001, 2002; CRAIK, 2002; SAARINEN, 2000, 2002; FERREIRA, 2004; FERREIRA; ZANNIN, 2007). O pesquisador Simmons (2001, 2002) sugere que seja adotada uma margem de segurança de 3 dB(A) para o uso do *software Bastian*.

O *software* apresenta uma vasta biblioteca de elementos construtivos com seus respectivos índices de redução sonora. Os elementos da fachada de

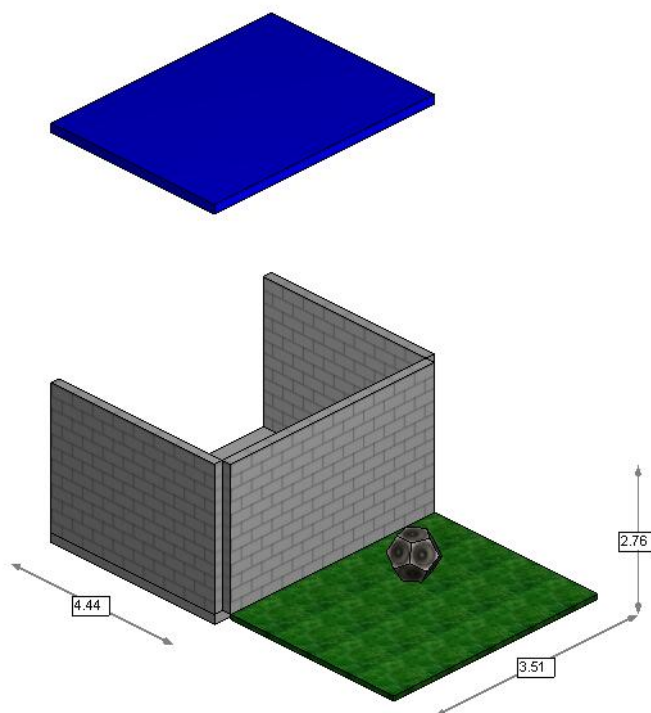
edificação são normalmente dependentes das características climáticas do ambiente. Em países nórdicos, por exemplo, as janelas são tipicamente constituídas por três camadas de vidro – acusticamente complexas, portanto (SAARINEN, 2000).

Desta forma, muitos elementos encontrados comumente na construção civil brasileira não estão disponíveis na biblioteca básica do programa. A janela mais simples oferecida pelo *software*, por exemplo, é constituída por duas lâminas de vidro de 4 mm de espessura. Não há nenhuma opção de janela com lâmina de vidro única.

Foi utilizado o módulo do *software* que permite a inserção de novos elementos à biblioteca inicial. Foram extraídos dados da literatura, possibilitando uma melhor adequação do programa aos padrões construtivos nacionais (HARRIS, 1993).

Com a geometria do ambiente e os elementos construtivos definidos, o *software* calcula o valor dos parâmetros de isolamento sonoro: índice de redução sonora ponderado e diferença padronizada de nível ponderada, R'_w e $D_{2m,nT,w}$ respectivamente. O programa determina também, através do *Método de Análise Estatística Energética*, uma tabela que aponta em porcentagem quantitativa através de quais elementos ocorre a transmissão da energia acústica.

Esta tabela é bastante útil, pois permite verificar através de qual elemento está ocorrendo a transmissão da maior parcela de energia – o “elo fraco” do isolamento –, conforme ilustra o exemplo da figura 4. O *software BASTIAN* é, portanto, uma poderosa ferramenta para auxiliar a tomada de decisões acerca do dimensionamento ou redimensionamento de um sistema de isolamento acústico.



	Receiving Room	Junction	D2m,nT,w (0.5 s)	
t	Basic Element	Type-No.	dB	%
d	BAST: concrete (2200 kg/m ³) 100 mm		50.2	1
d1	Vidro Comum 1		29.4	99
f1	BAST: concrete (2200 kg/m ³) 100 mm	2	56.8	0
f2	BAST: concrete (2200 kg/m ³) 100 mm	2	56.8	0
f3	BAST: concrete floor (2200 kg/m ³) 100 mm	2	55.5	0
f4		2		
			29.3	100

FIGURA 4 – TELA DO SOFTWARE *BASTIAN*: 99% DA ENERGIA ACÚSTICA É TRANSMITIDA ATRAVÉS DE UMA JANELA EM UMA FACHADA

FONTE: O autor (2013).

4.6 SITUAÇÃO ATUAL

O ruído de tráfego é responsável por danos ambientais deterioradores da qualidade de vida (ZANNIN, 2002; FIEDLER, 2013).

Engel (2012), Zannin *et. al.* (2012), Bunn (2013) e Fiedler (2013) apresentaram trabalhos recentes mostrando que diversas regiões da cidade de Curitiba estão expostas a níveis de pressão sonora acima dos permissíveis, acarretando em todos os problemas sanitários decorrentes da poluição sonora.

O problema do ruído de tráfego urbano não possui solução única, sendo necessárias várias ações em sinergia para que seja possível reduzir os níveis de pressão sonora de forma significativa (FIDLER, 2013). Entre elas, cabe destacar:

- Diminuição dos níveis de emissão sonora através da redução do número de veículos, redução da velocidade do tráfego, uso de veículos mais silenciosos, uso de pavimentação menos ruidosa nas ruas;
- Diminuição dos níveis de imissão sonora (níveis que chegam aos receptores), através do uso de barreiras acústicas e isolamento sonoro de edificações;

4.6.1 Trabalhos sobre isolamento sonoro no Brasil

Poucos trabalhos foram publicados no Brasil sobre isolamento sonoro de edificações. As publicações existentes evidenciam a má qualidade do isolamento sonoro em edificações nacionais.

Jobim (1997) demonstrou, através de levantamentos estatísticos, que a falta de conforto acústico é uma das principais fontes de insatisfação de ocupantes de habitações.

Ferreira (2004) avaliou o isolamento sonoro de onze residências em Curitiba. Todas tiveram desempenho inferior ao mínimo recomendado pela norma alemã DIN 4.109. O trabalho constatou também que não há diferença significativa no isolamento sonoro de fachadas entre residências de alto padrão e de padrão popular. Compradores com condições econômicas para investir em conforto acústico não o fazem por falta de informação.

Polli (2007) obteve conclusões que apontam para o mesmo sentido das de Ferreira (2004). Seu estudo mostrou que o isolamento sonoro é um parâmetro independente do nível de investimento de edificações. Ainda, o índice de redução sonora, R_w , é igualmente baixo em todas as categorias de imóveis, sendo em torno de 15 dB inferior ao que estabelecem normas europeias. A má qualidade da mão de obra, a falta de padronização de materiais e a grande quantidade de construções irregulares são apontadas pela pesquisadora como as principais causas desta baixa qualidade do isolamento acústico de edificações brasileiras.

Queiroz e Viveiros (2008) fizeram um estudo de caso sobre o desempenho do isolamento sonoro em fachadas residenciais de diferentes períodos arquitetônicos na Avenida Beira Mar Norte, Florianópolis. O isolamento

sonoro apresentou-se baixo com pouca variação em todo o período de tempo avaliado, apesar de toda a evolução tecnológica no setor de construção civil. Uma linha de tendência linear foi adicionada aos valores do índice de redução sonora, R_w , no período entre 1968 e 2005. A linha apresenta um decréscimo com o tempo, apontando para uma piora na qualidade do isolamento acústico no período compreendido pelo estudo.

Escassos são também os estudos sobre metodologia ou levantamento de dados de elementos construtivos encontrados comumente na construção civil brasileira. Entre os existentes, alguns são destacados nos parágrafos seguintes.

Recchia (2001) estudou o isolamento sonoro de elementos construtivos que compõe a fachada – janelas, paredes e condicionadores de ar. Sua pesquisa constatou que as janelas constituem o elemento fraco do isolamento sonoro de fachadas, independente do material utilizado em sua fabricação.

Scherer (2005) avaliou o desempenho do isolamento sonoro de vitragens simples e duplas. As publicações estrangeiras apresentam, em sua grande maioria, apenas dados de vitragens duplas. Este trabalho foi um dos poucos encontrados na literatura contendo dados sobre o isolamento sonoro de vidros simples, comumente encontrados nas edificações brasileiras. Os valores medidos neste estudo estão expostos no Anexo I.

Oliveira (2007) fez ensaios sobre a melhoria do isolamento sonoro com a duplicação de janelas no Laboratório de Termo Acústica da Universidade Federal de Santa Maria. Acréscimos de 4 a 8 dB foram verificados sobre o índice de redução sonora, R_w , após a duplicação das janelas. Os resultados apresentados sugerem o uso de janelas acústicas (com vitragem dupla) como forma de melhoria do isolamento para o controle de ruídos.

Pisani (2008) conduziu um estudo sobre cortinas *black-out* (de vinil e poliéster) como componentes no isolamento sonoro de fachadas. Os ensaios avaliaram várias composições de cortinas, que obtiveram um aumento entre 2 e 5 dB sobre o índice de redução sonora, R_w . O trabalho constatou que as cortinas *black-out* contribuem para o isolamento sonoro de fachadas, obtendo um melhor desempenho do que venezianas e persianas. A utilização deste tipo de cortina é viável do ponto de vista acústico e econômico.

Ferreira e Zannin (2007) compararam valores de isolamento sonoro medidos em campo com valores simulados através do *software Bastian*. As

medições foram feitas em onze residências de Curitiba, realizadas em fachadas e entre cômodos. Após um tratamento estatístico, foi concluído que as amostras (medidas e simuladas) são iguais ou semelhantes, com um intervalo de confiabilidade de 95%.

Pinto (2011) obteve resultados semelhantes comparando valores medidos e simulados para o índice de redução sonora em paredes de alvenaria de habitações. O pesquisador também utilizou o *software Bastian* para as simulações computacionais, obtendo uma boa correlação entre os valores experimentais e os de simulação numérica.

Ambos os trabalhos dão validade para o método numérico descrito na EN 12.354 (2000), já que o *software Bastian* utiliza-o em suas rotinas de cálculo.

Um estudo realizado por Michalski (2011), avaliou metodologias para a medição do isolamento sonoro em campo, a fim de expressar suas respectivas incertezas. Foram comparados dois métodos: o método clássico (baseado em medições diretas dos níveis de pressão sonora, regulamentado pela ISO 140) e o método da função de transferência (baseado em medições de funções de transferência ou respostas impulsivas, regulamentado pela ISO 18.233) (ISO, 1998; ISO, 2006).

Com o intuito de validar ambos os métodos e estabelecer suas incertezas, o autor aplicou conceitos estatísticos sobre resultados de medições. Baseando-se nesses resultados, Michalski (2011) sugere o valor de 2 dB como incerteza de medição aceitável para valores de desempenho acústico estabelecidos por normas brasileiras publicadas recentemente. Cabe ressaltar que o trabalho foi concluído durante o período de edição da norma NBR 15.575, utilizada como parâmetro de comparação na presente dissertação.

4.7 MAPEAMENTO ACÚSTICO

A confecção de mapas acústicos é uma poderosa ferramenta para o diagnóstico e tomada de decisões acerca de um ambiente sonoro. Políticas de controle de ruídos baseadas neste tipo de mapeamento vem sendo tomadas com sucesso em diferentes países (LEE *et. al.*, 2008; KO *et. al.*, 2011; TSAY *et al.*, 2009;)

Estes mapas, que permitem a quantificação de níveis sonoros existentes em uma determinada região, são elaborados através de *softwares* de simulação. Estes programas são alimentados com informações sobre fontes de ruído – como tráfego (rodoviário, ferroviário e/ou aeroviário), máquinas, indústrias e outras fontes – e informações sobre relevo e construções. Utilizando equações físicas de propagação de ondas sonoras, interpolações e algumas correções, estes programas computacionais geram mapas com escala de cores diferenciadas que permitem a determinação do nível de ruído existente em qualquer ponto da área de estudo, através de leitura direta.

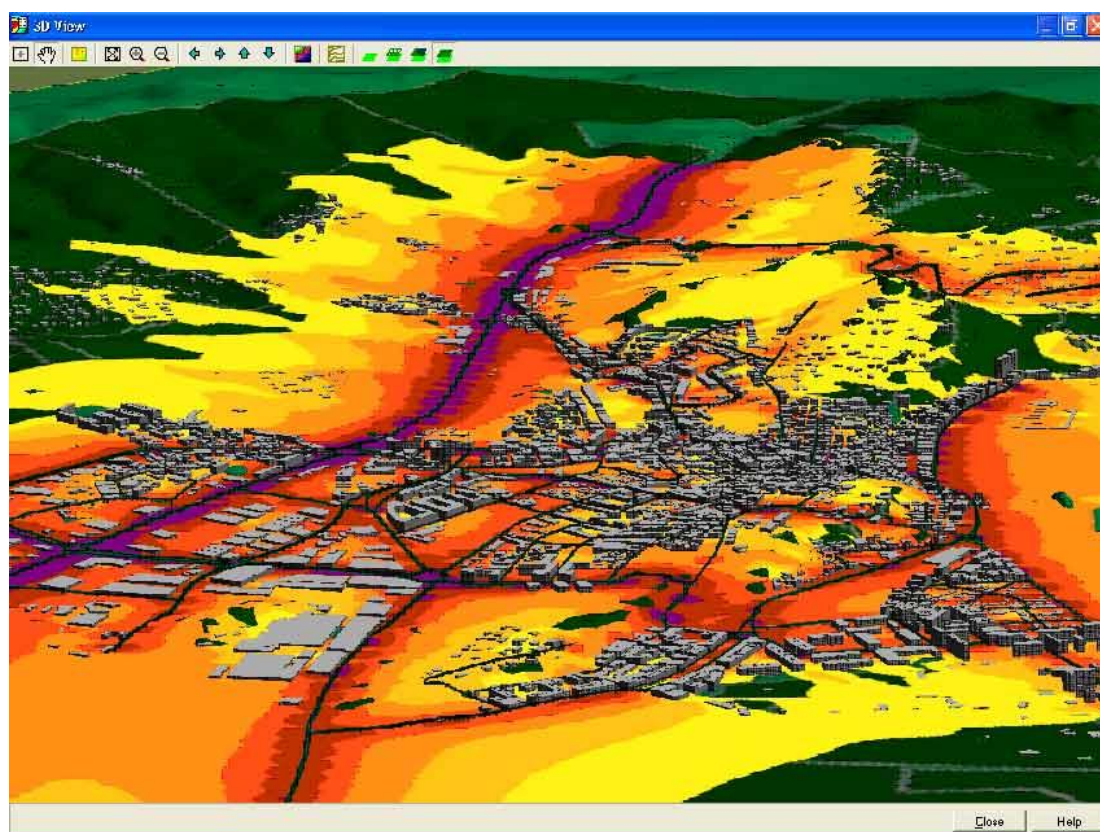


FIGURA 5 – TELA DO SOFTWARE PREDICTOR. ÁREA GEOGRÁFICA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

FONTE: BRÜEL & KJAER (2012).

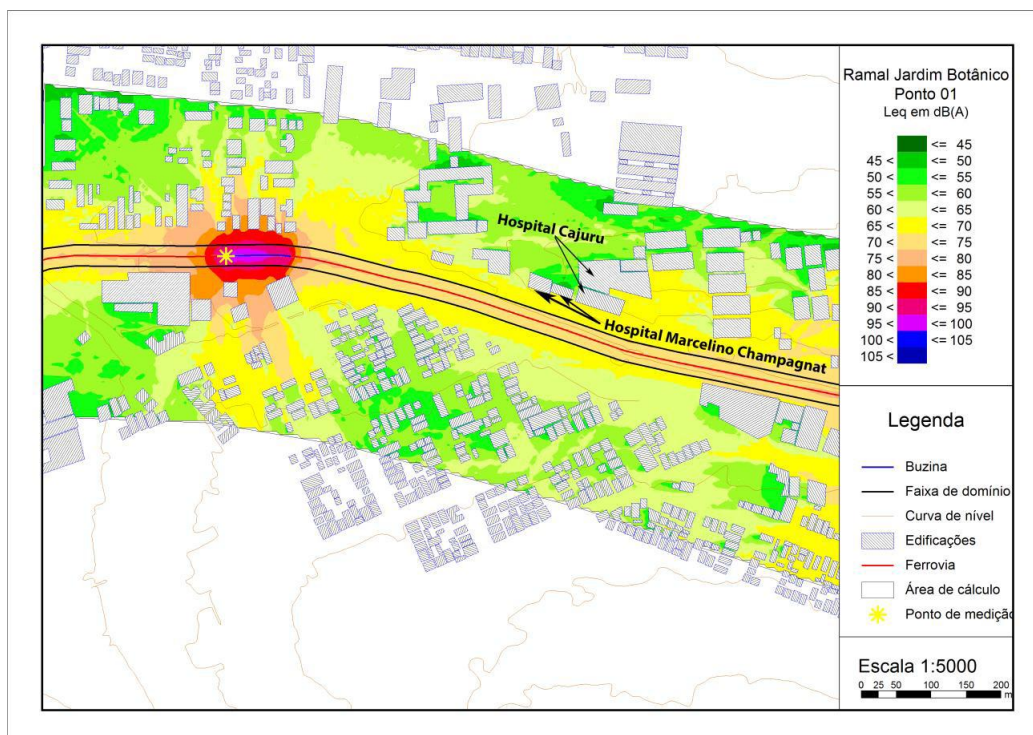


FIGURA 6 – TELA DO SOFTWARE SOUNDPLAN. ÁREA GEOGRÁFICA COM DIFERENTES NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

FONTE: BUNN (2013).

O uso destes programas computacionais permite a visualização das principais fontes de ruído que atuam sobre determinada região, servindo como guia para a tomada de ações mitigadoras sobre o problema do ruído ambiental. Em acréscimo, cabe ressaltar que o mapeamento acústico possibilita a predição de situações futuras (como a abertura e fechamento de ruas, implantação de unidades habitacionais, comerciais e industriais, ativação ou desativação de linhas férreas, etc.), constituindo uma poderosa ferramenta de apoio ao planejamento urbano. Por fim, o mapeamento acústico minimiza a necessidade de medições em campo, que são dispendiosas por questões de tempo e recursos financeiros, além de estarem sujeitas a condições ambientais propícias e questões de logística (MANVELL; BANDA, 2006; FIEDLER, 2013).

Alguns desses *softwares* – como o *Predictor*® – permitem ainda a construção de mapas tridimensionais, demonstrando os níveis sonoros que chegam às fachadas das edificações em função da altura em relação ao solo. Esta ferramenta é útil para o dimensionamento de características construtivas de fachadas em relação ao controle do ruído. Altas edificações com vários andares podem apresentar um gradiente de níveis de pressão sonora em função da

altura, alterando as necessidades de isolamento sonoro de cada pavimento visando ao conforto acústico.

A variação vertical dos níveis de pressão sonora ocorre devido a efeitos da propagação, difusão, reflexão, absorção e transmissão das ondas sonoras, a difração das mesmas quando há existência de obstáculos (outras edificações ou vegetação, por exemplo), o posicionamento das fontes sonoras, efeitos topográficos, entre outros. A figura 7 demonstra um exemplo destes mapas:

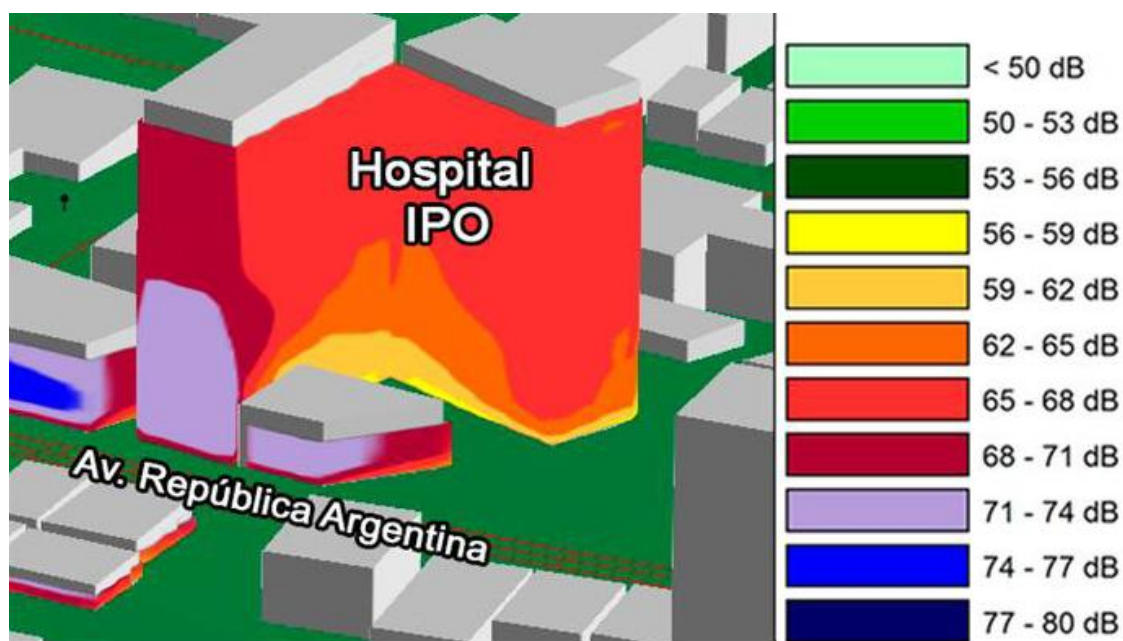


FIGURA 7 – MAPAS EM CORTE

FONTE: Adaptado de FIEDLER (2013).

A elaboração destes mapas verticais tem por objetivo, nesta dissertação, servir como guia para o dimensionamento do isolamento sonoro de diferentes pavimentos de uma edificação tomada como estudo de caso, de acordo com as diferentes necessidades de cada andar.

4.7.1 Modelo de ruído rodoviário ISO 9.613-2

Modelos matemáticos baseados em informações sobre as fontes sonoras e condições de propagação do som podem ser utilizados para determinar os níveis de ruído que incidem sobre determinada área de interesse. Entre os

modelos matemáticos para ruído de tráfego mais populares, cabe-se destacar: o ISO 9.613 – 1/2 Road, o método NMPB-2008 utilizado na França, o modelo alemão *Richtlinien für Lärmchutz an Straßen* (RLS-90), o *Federal Highway Administration* (FHWA) utilizado nos Estados Unidos, o *Calculation of Road Traffic Noise* (CRTN) utilizado no Reino Unido, entre outros.

Softwares comerciais sofisticados de predição acústica – como o *SoundPLAN*, *CADNA*, *Predictor-Lima*, *Mitra*, *Noisemap*, entre outros – utilizam estes modelos em suas rotinas de cálculo.

No presente trabalho, optou-se pela utilização do *software Predictor* com a rotina de cálculo baseada no modelo ISO 9.613-2. O motivo da escolha do *software* é a sua disponibilidade no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da UFPR, além da facilidade de manuseio e possibilidade de confecção de mapas com cortes verticais. Já o método ISO é considerado moderadamente complexo, produzindo resultados de boa precisão segundo Bies e Hansen (2002). Ademais, o método vem sendo utilizado por diversos trabalhos encontrados na literatura (CHO; MUN, 2007; LEE *et. al.*, 2008; ZANNIN; SANT’ANNA, 2011; FIEDLER *et. al.*, 2012;).

O método de cálculo ISO 9.613-2 “*Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2*”, possibilita o cálculo de níveis de pressão sonora em ambientes externos, calculando a atenuação sonora durante sua propagação. O método apresenta correções para a absorção atmosférica, efeitos da topografia do solo e obstáculos (vegetação, barreiras e edificações), reflexões, absorção do solo e efeitos provocados pelo vento.

A seguir estão apresentadas as fórmulas de cálculo contidas na ISO 9.613-1/2, presentes nos algoritmos do *software Predictor*.

$$L_{It,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (8)$$

$$L_{dw} = L_w - R - A \quad (9)$$

Onde:

$L_{It,per}$ – nível de pressão sonora de longa duração em oitava ou 1/3 de oitava durante o período de avaliação, dB(A);

C_m – correção meteorológica, dB;

$C_{t,per}$ – correção para o tempo de atividade da fonte durante o período de avaliação, dB;

L_{dw} – nível de pressão sonora equivalente contínuo em oitava ou 1/3 de oitava, dB(A);

L_w – nível de potência sonora em oitava ou 1/3 de oitava, dB(A);

R – redução da fonte definida pelo usuário em oitava ou 1/3 de oitava, dB;

A – atenuação por banda de oitava em oitava ou 1/3 de oitava, dB;

O cálculo da atenuação A é realizado através da equação (10):

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (10)$$

Onde:

D_c – correção da diretividade, dB;

A_{div} – atenuação provocada pela divergência entre fonte e receptor, dB;

A_{atm} – absorção atmosférica em oitava ou 1/3 de oitava, dB/oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{gr} – atenuação provocada pelo solo, dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{bar} – atenuação provocada por obstáculos (topografia, edifícios, etc.), dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{fol} – atenuação devido à vegetação e folhagem, dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{site} – atenuação devido a instalações de uma indústria, dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{hous} – atenuação devido a residências, dB;

Alguns destes parâmetros supracitados são opcionais durante o cálculo – atenuação do solo, correções meteorológicas, ângulo relativo entre fonte e receptor para dividir as fontes em linha ou pontuais e absorção do ar.

O cálculo da atenuação A é a parte mais demorada do cálculo, já que para cada combinação entre fonte e receptor, o *software* determina todos os caminhos de som direto possíveis, além dos caminhos possíveis de reflexão do som

através de objetos refletoras (como edifícios ou barreiras). Desta forma, não é incomum que simulações do programa levem dezenas de horas para serem concluídas (BRÜEL & KJAER, 2010).

A emissão do nível de pressão sonora é determinada através de informações sobre vias. Este nível pode ser obtido através do número de veículos por hora, tipo de pavimentação e velocidade de tráfego, ou através da potência sonora por metro de via. Há ainda uma subdivisão dos veículos em quatro categorias: motocicletas, veículos leves, caminhões leves e caminhões pesados.

As seguintes equações determinam a potência sonora emitida por cada categoria de veículos (BRÜEL & KJAER, 2010).

$$L_w = 10 \log\left(\frac{Q}{V}\right) + a + bV + C_{wh} \quad (11)$$

$$C_{wh} = \max(C_w, C_h) \text{ se } C_h \neq 0; C_w \text{ se } C_h = 0; \quad (12)$$

$$C_h = 5 \log(ph) - 1,5 \quad (13)$$

Onde:

Q – quantidade de veículos (por hora);

V – velocidade média do tráfego, km/h;

b – parcela da potência sonora gerada por um veículo que depende da velocidade, dB(A);

a – parcela da potência sonora gerada por um veículo que não depende da velocidade, dB(A);

C_{wh} – correção combinada para tipo de pavimento e declividade, dB;

C_w – correção da superfície do pavimento, dB(A);

C_h – correção da declividade do terreno, dB;

ph – declividade do terreno, dada em porcentagem;

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir há uma breve descrição dos materiais e métodos que foram utilizados durante as medições de isolamento sonoro de fachadas, elaboração de mapas acústicos e simulação da acústica de fachadas.

5.1 MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO DE FACHADAS

As medições de isolamento sonoro de fachadas foram realizadas entre maio e setembro de 2013, no período entre às 8h00 e 18h00. Como é necessário o consentimento dos ocupantes das edificações para a realização das medições, foram escolhidas preferencialmente habitações de amigos próximos e colegas do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da UFPR, dispostos a colaborar.

5.1.1 Edificações

Foi medido o isolamento sonoro de 13 fachadas em diferentes edificações de Curitiba-PR, em várias regiões da cidade. Estas medições, além de complexas, nem sempre são possíveis de serem realizadas, já que as mesmas dependem da colaboração de moradores, do tempo disponível, de fatores climáticos e outros aspectos logísticos.

Diferentes tipos de edificações foram medidos, entre eles: apartamentos, residências e salas de aula. Diversas situações foram abordadas, levando-se em conta diferentes materiais construtivos. Em algumas fachadas, foram deixadas pequenas aberturas propositalmente, a fim de simular o efeito de frestas sobre o isolamento de construções.

As medições realizadas estão apresentadas em detalhes na seção 6.1 deste trabalho.

5.1.2 Equipamentos e metodologia de medição

Para o cálculo da diferença padronizada de nível ponderada – $D_{2m,nT,w}$ – é necessário que se determinem os parâmetros $L_{1,2m}$, L_2 e T , conforme a equação (7). Os níveis de pressão sonora interno e externo à fachada ($L_{1,2m}$ e L_2) são medidos através de um procedimento diferente daquele utilizado para a medição do tempo de reverberação (T). As seções seguintes detalham os procedimentos necessários para a determinação *in situ* destes parâmetros.

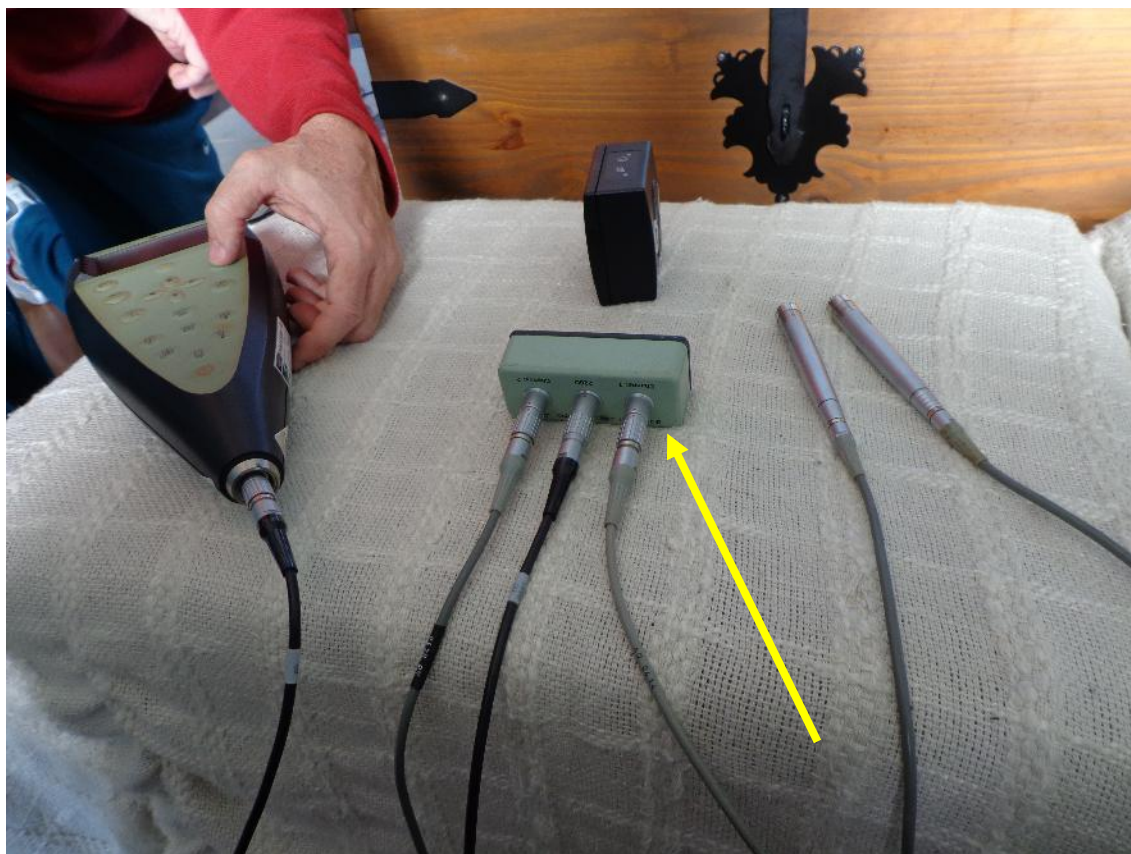
1) Níveis de pressão sonora $L_{1,2m}$ e L_2

O analisador sonoro *Brüel & Kjaer* modelo 2260 Investigator é o centro da cadeia de medições necessária para o aferimento destes dados. A ele é conectado um adaptador de dois canais, tornando possível a medição concomitante do nível de pressão sonora através de dois microfones – microfones tipo *freefield ½'* *Brüel & Kjaer*, modelo 4190.



FIGURA 8 – ANALISADOR SONORO MODELO 2260 – BRÜEL & KJAER

FONTE: LAAICA (2010).



**FIGURA 9 – ANALISADOR SONORO BRÜEL & KJAER MODELO 2260 À ESQUERDA;
ADAPTADOR DE DOIS CANAIS BRÜEL & KJAER (EM DESTAQUE); MICROFONES
BRÜEL & KJAER MODELO 4190 À DIREITA**

FONTE: O autor (2013).

Todos os equipamentos supracitados (analisador sonoro, adaptador de dois canais, microfones e conjunto de cabos) são instrumentos Classe 1. Estes apresentam erro máximo de ± 0.7 dB, sendo utilizados para medições precisas e estando abaixo somente de equipamentos Classe 0 – utilizados como padrão de referência para se calibrar equipamentos das demais classes.

Antes de que cada medição fosse efetuada, foi realizada a calibração externa dos dois microfones tipo *freefield* de meia polegada. Esta calibração é efetuada com um calibrador do mesmo fabricante (*Brüel & Kjær*), com o intuito de reduzir as incertezas nas medições, conforme recomenda o manual do equipamento. O calibrador emite um sinal tonal na frequência de 1000 Hz, captada pelos microfones. O analisador sonoro faz ajustes eletrônicos, indicando, ou não, a presença de desvios. A calibração interna é feita periodicamente conforme o equipamento, pelo fabricante e autorizadas (BRÜEL & KJAER, 1996).

A figura 10 abaixo ilustra o processo de calibração externa dos equipamentos:



FIGURA 10 – CALIBRAÇÃO EXTERNA DE MICROFONES: ANALISADOR SONORO, ADAPTADOR DE DOIS CANAIS, CALIBRADOR (EM DESTAQUE) E MICROFONES

FONTE: O autor (2013).

Após efetuada a calibração, os microfones – apoiados em pedestais – são posicionados para que se efetue a medição concomitante dos níveis de pressão sonora interno (L_2) e externo a dois metros de distância da fachada ($L_{1,2m}$). As figuras 11 a 13 ilustram o procedimento.

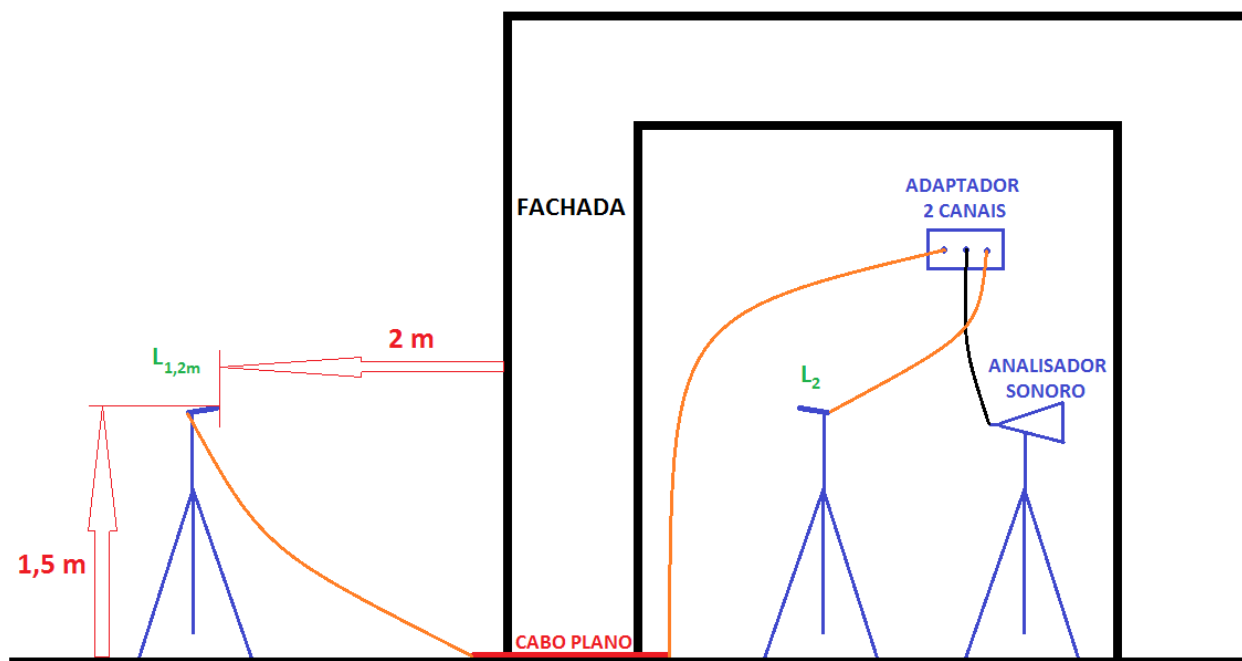


FIGURA 11 – ESQUEMA DE MEDIÇÕES

FONTE: O autor (2013).



FIGURA 12 – SET DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DE L_2 NO INTERIOR DE UM DORMITÓRIO: MICROFONE E ANALISADOR SONORO

FONTE: O autor (2013).



FIGURA 13 – MICROFONE POSICIONADO A DOIS METROS DE DISTÂNCIA DA FACHADA PARA MEDIÇÃO DE $L_{1,2m}$: VISTA EXTERNA DO DORMITÓRIO.

FONTE: O autor (2013).

Para conectar o microfone posicionado externamente à fachada, é feito o uso do cabo plano *Brüel & Kjaer* modelo AR 0014. Este cabo, que tem o formato achatado, é possível de ser passado por algum elemento de separação da fachada (porta ou janela) com o mesmo estando fechado (a fresta gerada pelo cabo plano é desprezível). Isto é necessário já que, se fosse utilizado um cabo cilíndrico, seria preciso que se deixasse uma abertura no elemento de separação que comprometeria a medição dos parâmetros de isolamento sonoro, subestimando seus níveis.



FIGURA 14 – CABO PLANO MODELO 0014 – BRÜEL & KJAER

FONTE: O autor (2013).

Durante o processo de medição dos níveis de pressão sonora interno e externo a dois metros da fachada, foram observadas todas as recomendações contidas na ISO 140-5 “*Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound of façade elements and façades*”.

Entre as recomendações da norma, cabe-se destacar:

- Posicionamento do microfone externo a $(2 \pm 0,2)$ m da fachada, e a 1,5 m de altura sobre o piso da sala receptora para medição do nível de pressão sonora externo – $L_{1,2m}$;
- 5 posições de microfone para a obtenção do nível médio de pressão sonora na sala receptora – L_2 – distribuídas uniformemente no máximo espaço permitido pela sala. Cada posição é medida em um tempo mínimo de 6 segundos, totalizando, no mínimo, 30 segundos de aquisição de dados para o nível interno de pressão sonora;

- Os microfones foram posicionados observando-se as seguintes recomendações: 0,7 m de distância mínima entre duas posições de microfones; 0,5 m de distância mínima entre qualquer microfone e superfícies e/ou objetos da sala; 1,0 m de distância mínima entre qualquer microfone e uma fonte sonora;
- Medições em bandas de 1/3 de oitava cobrindo, no mínimo, o espectro de frequências entre 100 e 3150 Hz;

FONTE: ISO (1998).

Nas situações em que o ruído de tráfego não era contínuo ou intenso o suficiente, foi utilizado o método do alto falante para a determinação da diferença padronizada de nível ponderada. Nesta condição, foi utilizado um gerador de ruído branco *Noise Generator* modelo 1405 e um alto falante *Meteoro* de doze polegadas.



FIGURA 15 – SET DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DE $L_{1,2m}$ PELO MÉTODO DO ALTO FALANTE: MICROFONE (A 2 m DE DISTÂNCIA DA FACHADA), GERADOR DE RUÍDO BRANCO E ALTO FALANTE

FONTE: O autor (2013).

Conforme dispõe a norma ISO 140-5, o alto falante foi posicionado apontado para o plano normal à fachada, com um ângulo de incidência de $(45 \pm 5)^\circ$.



FIGURA 16 – ALTO FALANTE APONTADO COM UM ÂNGULO DE 45° AO PLANO NORMAL DA FACHADA

FONTE: O autor (2013).

2) Tempo de reverberação (T)

Para a medição do tempo de reverberação, parâmetro necessário para o cálculo da diferença padronizada de nível ponderada, foram seguidas as especificações contidas na ISO 354 – “*Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*”. A norma regulamenta todos os procedimentos necessários para a determinação deste parâmetro através do método do ruído interrompido (ISO, 2003).

Durante o processo de medição do tempo de reverberação de salas, foi utilizado um analisador sonoro *Brüel & Kjaer* modelo 2260, uma fonte sonora dodecaédrica *Brüel & Kjaer* modelo 4296, um amplificador de potência *Brüel & Kjaer* modelo 2716 e um microfone tipo *Brüel & Kjaer* tipo *freefield* ½' modelo 4190. Todos esses equipamentos são Classe 1.



FIGURA 17 – FONTE SONORA MODELO 4296 – BRÜEL & KJAER

FONTE: LAAICA (2010).

O analisador sonoro gera um ruído (impulso) que é amplificado pelo amplificador de potência. Este é conectado à fonte sonora dodecaédrica, que excita a sala de forma omnidirecional. A resposta da sala é captada pelo microfone acoplado ao analisador sonoro. As figuras 18 e 19 a seguir ilustram o set de equipamentos e o esquema de medição utilizados durante a aquisição de dados de tempo de reverberação:



FIGURA 18 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A MEDIÇÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO EM DORMITÓRIO: MICROFONE, FONTE SONORA E ANALISADOR SONORO

FONTE: O autor (2013).

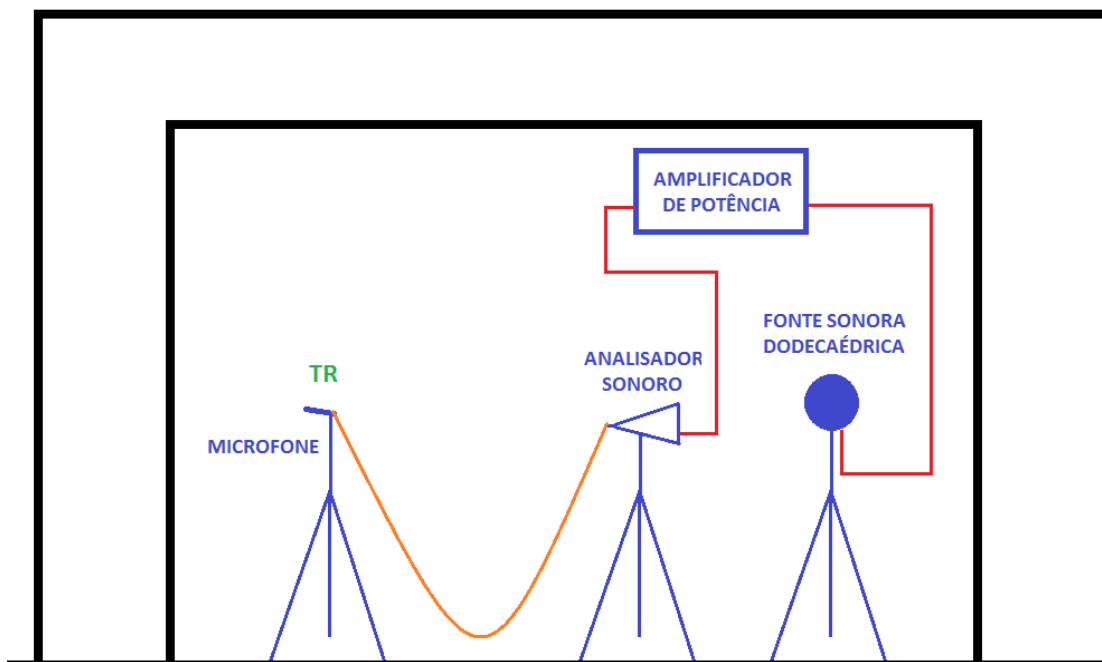


FIGURA 19 – ESQUEMA DE MEDIÇÕES DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO

FONTE: O autor (2013).

Conforme estabelecido pela norma ISO 354, o microfone foi colocado em, no mínimo, 5 posições diferentes dentro de cada sala. O valor do tempo de reverberação é calculado através da média dessas medições distintas, por todo o espectro de frequências.

Durante a aquisição dos dados necessários para a determinação da diferença padronizada de nível ponderada ($L_{1,2m}$, L_2 e T), estes são armazenados na memória do analisador sonoro *Brüel & Kjaer 2260*. Os dados são, então, descarregados no *software Qualifier 7030*, da empresa *Brüel & Kjaer*.

O programa os processa, elaborando gráficos de nível de isolamento sonoro avaliados em bandas de frequência de 1/3 de oitava. O programa também calcula, automaticamente, os números únicos de isolamento sonoro (R'_w e $D_{2m,nT,w}$), segundo preconiza a norma ISO 717-1 (ISO, 1996).

Após o aferimento dos dados, estes foram comparados às normas vigentes. Os níveis de isolamento acústico de fachadas foram comparados aos estipulados pela NBR 15.575 e pelo RRAE de Portugal. Os resultados estão expressos na seção 6.1.

Cabe ressaltar que as medições de isolamento sonoro não são um procedimento fácil de ser executado. É necessário um elevado conhecimento técnico para que se respeite todas as minúcias contidas nas normas. Os equipamentos necessários para a determinação *in situ* da diferença padronizada de nível ponderada e do índice de redução sonora ponderado – $D_{2m,nT,w}$ e R'_w respectivamente – são sensíveis e de custo elevado, chegando a dezenas de milhares de reais. O transporte dos mesmos até a situação de campo é outro problema logístico a ser contornado, já que os equipamentos são numerosos e pesados. Por fim, as medições ainda estão sujeitas a outros fatores externos, como o clima, a colaboração dos ocupantes das edificações e o *layout* das salas avaliadas – recintos mobiliados exigem atenção redobrada para que se evitem acidentes durante o processo.

5.2 SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO SONORO – SOFTWARE BASTIAN®

As simulações de isolamento acústico desenvolvidas neste trabalho têm a finalidade de servir como um modelo para profissionais da área de construção civil, arquitetos e consultores. Estes poderão seguir os passos aqui

apresentados para dimensionar corretamente fachadas ou paredes internas de edificações, atingindo os valores propostos por normas e o conforto acústico.

Foram avaliadas cinco fachadas previamente medidas em campo, cujos níveis da diferença padronizada de nível ponderada não atenderam aos mínimos estipulados pelas normas. Foram preservadas as dimensões originais das paredes, pisos e tetos das salas, fazendo-se alterações apenas nos modelos de janelas e portas constituintes das fachadas.

Primeiramente, foi feita uma simulação com a condição atual das fachadas, com o fim de calibrar o modelo computacional. A diferença entre os níveis dos parâmetros de isolamento sonoro (diferença padronizada de nível ponderada e índice de redução sonora ponderado) não deve ultrapassar 3 dB (SIMMONS, 2001, 2002). A seguir, foram testados três modelos diferentes de janelas ou portas, dependendo da fachada. Estas são constituídas por armações de metal e folhas duplas de vidro de diferentes espessuras, todas pertencentes ao banco de dados do *software BASTIAN*.

Utilizando algum *software* comercial (similar ao *BASTIAN*) para determinação do isolamento acústico, os seguintes passos devem ser observados:

1. Determinação do nível de isolamento acústico a ser alcançado ($D_{2m,nT,w}$ ou R'_w);
2. Desenho esquemático do aposento a ser isolado, com geometrias e áreas;
3. Inserção dos materiais constituintes do aposento (paredes, teto, piso, janelas e portas); muitas vezes o ambiente já está construído, sendo o método mais prático (e menos custoso) para o redimensionamento de um isolamento acústico a substituição de janelas e portas;
4. Utilizar método iterativo de tentativa e erro até que se atinja o isolamento acústico desejado. Aqui deve ser analisada a qualidade acústica dos elementos em função de seus custos: como em qualquer outro projeto de engenharia, deve-se evitar o superdimensionamento do isolamento com o fim de economizar recursos;
5. Procurar em catálogos de fabricantes modelos comerciais correspondentes aos materiais utilizados no projeto computacional;

Valores comerciais de alguns elementos foram pesquisados e apresentados no Anexo I. As seções 6.2.2, 6.2.3 e 6.2.5 fizeram uso de alguns desses dados com o propósito de apresentar ao leitor uma ordem de grandeza sobre os valores monetários envolvidos.

Vale ressaltar que o investimento em um melhor isolamento acústico não representa apenas uma melhora na questão de conforto e ergonomia predial. Representa, também, um investimento financeiro, já que há uma valorização da edificação provida de conforto acústico adequado (RASMUSSEN, 2004).

5.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO – *SOFTWARE PREDICTOR®*

Durante a elaboração deste trabalho, foi confeccionado um mapa acústico tridimensional com os diferentes níveis de pressão sonora que chegam à fachada de uma edificação no centro de Curitiba. Este estudo de caso é um exemplo do dimensionamento do isolamento sonoro necessário a edificações com vários pavimentos. Para a elaboração do mapa, foi utilizado o *software Predictor-Lima 7810* versão 8.11.

5.3.1 Área de estudo

Para a elaboração do mapa acústico tridimensional, foi considerada a região formada pelas quadras em volta do cruzamento das ruas Mariano Torres e Benjamin Constant em Curitiba, bairro Centro.



FIGURA 20 – CRUZAMENTO DAS RUAS MARIANO TORRES E BENJAMIN CONSTANT, CURITIBA. DESTAQUE PARA EDIFÍCIO MAIS ALTO

FONTE: Adaptado de GOOGLE EARTH-MAPAS (2013).

O motivo da escolha da região é o fato de possuir vários prédios de alturas elevadas, possibilitando um estudo mais minucioso do nível de ruído que chega à fachada dos diferentes pavimentos das edificações. Os prédios são margeados por uma via principal de tráfego intenso (Mariano Torres) e uma rua secundária (Benjamin Constant). O prédio mais alto (figura 21) tem 26 andares com habitações, além de uma galeria comercial no térreo, com uma altura total estimada em 82 metros. A facilidade de acesso ao local também foi um fator levado em conta na hora da escolha da região para o estudo de caso.



FIGURA 21 – EDIFÍCIO COM 26 ANDARES NA RUA MARIANO TORRES

FONTE: O autor (2013).

5.3.2 Confeção dos mapas

Para a construção do mapa, foram seguidos padrões adotados por trabalhos anteriores realizados pela equipe do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) (ZANNIN *et. al.*, 2011; ENGEL, 2012; FIEDLER *et. al.*, 2012; ZANNIN *et. al.*, 2012; FIEDLER, 2013). Estes padrões são condizentes com outros estudos presentes na literatura (LEE *et. al.*, 2008; PINTO; MARDONES, 2009; TSAY *et. al.*, 2009; GUEDES *et. al.*, 2011; KO *et. al.*, 2011; LAW *et. al.*, 2011; MEHRAVARAN *et. al.*, 2011; WANG *et. al.*, 2011).

Primeiramente, escolheu-se o método de cálculo – ISO 9.613 -1/2 Road, conforme apresentado na seção 4.7.1.

Em seguida, foram inseridos no modelo dados topográficos – curvas de nível de cinco em cinco metros –, arruamento e ortofotocartas da região de estudo. Estes dados foram obtidos através da base de dados Curitiba Digital, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC.

Para a inserção das características altimétricas no modelo, é necessário a inserção manual de cada edificação, com o uso das ortofocartas no plano de fundo para apoio do desenho. As dimensões das edificações foram inseridas no programa conforme a seguir:

TABELA 13 – ALTURA DE EDIFICAÇÕES ADOTADA EM MODELO COMPUTACIONAL

Tipo de edificação	Altura
Residências	3 m
Sobrados	6 m
Prédios	3 m para cada pavimento

FONTE: O autor (2013).

É importante ressaltar que em uma situação real de consultoria ou dimensionamento do isolamento sonoro, é interessante que se tenha acesso à planta da edificação com o propósito de gerar um modelo mais refinado – mais próximo da situação real.

Como fonte sonora, foi considerado exclusivamente o ruído de tráfego, isto é, o ruído emitido pelos veículos que compõem o fluxo de tráfego. Os níveis de pressão sonora emitidos por ruas e estradas podem ser calculados pela potência sonora por metro de via, ou pelo fluxo de veículos por hora, pavimentação e velocidade. Foi feita a opção de se calcular os níveis de emissão sonora através do fluxo de veículos. Para tal, foi feita a contagem de veículos em cada via por um período de dez minutos, fazendo-se a distinção entre os mesmos (motocicletas, veículos leves, caminhões leves, caminhões pesados). O valor do fluxo de veículos por hora foi obtido através de uma regra de três simples, seguindo o procedimento adotado por outros trabalhos presentes na literatura (ENGEL, 2012; FIEDLER, 2013).

A rua Mariano Torres, cujas vias são separadas por um canteiro central, foi caracterizada por duas linhas de emissão; já a rua Benjamin Constant, com duas pistas que trafegam no mesmo sentido, foi caracterizada por apenas uma linha de emissão, conforme recomenda Fiedler (2013).

Cada linha de emissão é caracterizada pelo tipo de pavimento, fluxo de veículos por hora e velocidade média de cada tipo de veículo. O tipo de pavimento selecionado para ambas as vias foi o asfalto. As velocidades médias de acordo com as ruas e o tipo de veículos foram inseridas conforme tabela a seguir:

TABELA 14 – VELOCIDADE MÉDIA CONFORME RUA E TIPO DE VEÍCULO

	Rua Mariano Torres	Rua Benjamin Constant
Motocicletas, veículos leves, caminhões leves;	50 km/h	40 km/h
Caminhões pesados;	40 km/h	30 km/h

FONTE: O autor (2013)

Os fatores de correção para vegetação não foram utilizados porque a mesma é desprezível na região do estudo de caso. Os fatores de correção meteorológica não foram utilizados porque as medições foram realizadas em condições meteorológicas favoráveis, com ausência de chuvas ou de ventos fortes.

Durante a realização do cálculo do modelo, o programa *Predictor* determina o nível de pressão sonora equivalente L_{eq} para os pontos estabelecidos pela resolução da malha de cálculo selecionada – *grid noise map*. Durante a confecção do mapa tridimensional do estudo de caso em questão, foi selecionada uma malha de 1 x 1 metro – a melhor resolução oferecida pelo *software*. Esta escolha foi feita para que se obtivesse a melhor precisão possível, melhorando a acuidade do mapa com fins de dimensionamento de isolamento sonoro. O mapa demorou aproximadamente uma hora e vinte e um minutos para ser calculado.

5.3.3 Calibração do modelo

Antes de se realizar a simulação de um mapa acústico, deve-se calibrar o modelo a fim de conferir confiabilidade aos resultados obtidos.

Em um primeiro momento da calibração, há uma conferência do modelo realizada pelo próprio programa computacional, onde possíveis inconsistências de topografia, características altimétricas de construções e de dados fornecidos são apontadas.

Em seguida, deve-se comparar os níveis de pressão sonora simulados pelo modelo com os níveis medidos em campo. A comparação é feita através da inserção de receptores no modelo, no local exato onde foram realizadas as medições em campo. Segundo a *European Commision Working Group – Assessment of Exposure to Noise* a diferença entre o nível de pressão sonora equivalente L_{eq} medido e calculado não deve ultrapassar 4,6 dB(A). Se esta recomendação for atendida, considera-se que o modelo está calibrado (WG-AEN, 2006).

Para efetuar a calibração do modelo deste estudo de caso, a medição do nível de pressão sonora equivalente foi feita com um analisador sonoro *Brüel & Kjaer* modelo 2238, Classe 1 segundo IEC 60651, em uma faixa dinâmica de 30 a 110 dB. As medições tiveram 10 minutos de duração, sendo realizadas concomitantemente à contagem manual de veículos, em três posições distintas:

- Posição 1: calçada da rua Mariano Torres, a 1,5 m de altura em relação ao solo;
- Posição 2: calçada da rua Benjamin Constant, a 1,5 m de altura em relação ao solo;
- Posição 3: sacada de uma habitação no 21º andar do edifício mais alto da região (mostrado na figura 21), a aproximadamente 68 m de altura em relação ao solo. Nesta posição não houve contagem de veículos;

A tabela comparativa entre os níveis de pressão sonora equivalentes medidos e calculados é apresentada a seguir:

TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MEDIDOS E CALCULADOS

	<i>L_{eq}</i> medido	<i>L_{eq}</i> calculado	Diferença
Posição 1	73,3 dB(A)	75,7 dB(A)	-2,4 dB(A)
Posição 2	70,5 dB(A)	70,3 dB(A)	0,2 dB(A)
Posição 3	61,8 dB(A)	63,6 dB(A)	-1,8 dB(A)

FONTE: O autor (2013).

É possível observar que nenhuma diferença entre os valores medidos e calculados superou os 4,6 dB recomendados pela WG-AEN em 2002, estando o modelo, portanto, calibrado.

6. RESULTADOS

As seções a seguir apresentam os resultados obtidos através de medições em campo e simulações.

6.1 MEDIÇÕES DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA – $D_{2m,nT,w}$

Abaixo estão detalhadas as fachadas onde foram efetuadas as medições, com informações acerca da localização e características das edificações, valores obtidos, fotos e comentários pertinentes. A seção 6.1.9 apresenta uma tabela com todos os valores medidos e os recomendados pelas normas brasileira e portuguesa para a $D_{2m,nT,w}$. O Anexo II traz as curvas da diferença padronizada de nível de cada medição.

6.1.1 Fachada 1

A Fachada 1 refere-se a um dormitório de uma residência localizada no bairro Cristo Rei. A fachada do dormitório tem uma área 17,28 m², sendo 11,68 m² ocupados por paredes de alvenaria e 5,6 m² por janelas de correr de vidro simples. Durante a medição, foi usado o método global do alto falante, conforme a norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



FIGURA 22 – FACHADA 1: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO CRISTO REI

FONTE: O autor (2013).

A habitação não está sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, mas também não está localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas. Desta forma, entende-se que a mesma está enquadrada na classe de ruído II segundo a NBR 15.575-4, onde o limite mínimo a ser alcançado para a $D_{2m,nT,w}$ é de 25 dB.

Pela medição, foi determinado o valor de 23 dB para a diferença padronizada de nível ponderada, evidenciando, portanto, que a Fachada 1 não atende o mínimo necessário estipulado pela norma nacional.

Durante o processo de medição, percebeu-se que a janela de correr de vidro simples não apresenta uma boa vedação, deixando frestas entre as armações de metal que sustentam os vidros. Estas imperfeições construtivas podem ser atribuídas à falta de manutenção da janela e ao uso de materiais não padronizados.

6.1.2 Fachada 2

A Fachada 2 refere-se a um dormitório de uma residência localizada no bairro Cristo Rei. A fachada do dormitório tem uma área de 9,69 m², sendo 6,89 m² ocupados por paredes de alvenaria e 2,8 m² por janelas de correr de vidro simples. Durante a medição, foi utilizado o método global do alto falante, conforme norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



FIGURA 23 – FACHADA 2: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO CRISTO REI

FONTE: O autor (2013).

As janelas de correr da Fachada 2 apresentam frestas entre os batentes de madeira nas junções das folhas de vidro, conforme ilustra a figura 24 abaixo. Este tipo de fresta é bastante comum, sendo corriqueiramente encontrada nas construções brasileiras.



FIGURA 24 – FRESTAS NAS JANELAS DA FACHADA 2

FONTE: O autor (2013)

Da mesma forma que a Fachada 1, entende-se que o dormitório da Fachada 2 está enquadrado na classe de ruído II segundo a NBR 15.575-4, onde o limite mínimo a ser alcançado para a $D_{2m,nT,w}$ é de 25 dB.

Pela medição, foi determinado o valor de 22 dB para a diferença padronizada de nível ponderada, evidenciando, portanto, que a Fachada 2 não atende o mínimo necessário estipulado pela norma nacional.

As frestas encontradas na Fachada 2 são atribuídas ao uso de materiais não padronizados, com propriedades acústicas desfavoráveis.

6.1.3 Fachada 3

A Fachada 3 refere-se a um dormitório no segundo andar de uma residência localizada no bairro Uberaba. A fachada do dormitório tem uma área de 8,25 m², sendo 5,07 m² ocupados por paredes de alvenaria e 3,18 m² por uma porta de correr composta por vidro simples e uma grelha de metal leve. A porta dá acesso a uma varanda. Durante a medição, foi utilizado o método global do alto falante, conforme norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



**FIGURA 25 – FACHADA 3: DORMITÓRIO DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO UBERABA.
DETALHE PARA MICROFONE**

FONTE: O autor (2013).

Para que fossem efetuadas as medições na Fachada 3 conforme recomenda a norma ISO 140-5, situando o microfone a 2 m de distância da fachada, foi necessário que se posicionasse o pedestal na sacada conforme ilustra a figura 26 a seguir.



FIGURA 26 – POSICIONAMENTO DO MICROFONE PARA MEDIÇÕES NA FACHADA 3

FONTE: O autor (2013).

A Fachada 3 foi avaliada em três situações diferentes: apenas com a porta de vidro fechada, apenas com a grelha de metal leve fechada, com a porta de vidro e a grelha de metal leve fechadas concomitantemente. As figuras 27 a 29 a seguir apresentam ilustrações das três situações avaliadas.

1) Situação 1 – Apenas a porta de vidro fechada (grelha de metal aberta);



FIGURA 27 – FACHADA 3 FECHADA APENAS COM A PORTA DE VIDRO

FONTE: O autor (2013).

2) Situação 2 – Apenas a grelha de metal fechada (porta de vidro aberta);



FIGURA 28 – FACHADA 3 FECHADA APENAS COM A GRELHA DE METAL

FONTE: O autor (2013).

3) Situação 3 – Grelha de metal e porta de vidro fechadas concomitantemente;

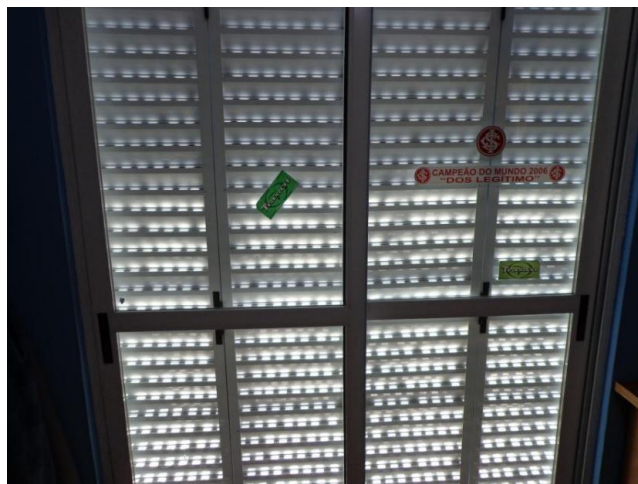


FIGURA 29 – FACHADA 3 FECHADA COM A PORTA DE VIDRO E A GRELHA DE METAL

FONTE: O autor (2013).

Da mesma forma que as fachadas anteriores, entende-se que o dormitório da Fachada 3 está enquadrado na classe de ruído II segundo a NBR 15.575-4, onde o limite mínimo a ser alcançado para a $D_{2m,nT,w}$ é de 25 dB.

Os resultados das medições estão resumidos na tabela 16 a seguir:

TABELA 16 – VALORES DAS MEDIÇÕES REFERENTES À FACHADA 3

Situação	$D_{Is,2m,nT,w}$ (dB)
1	17
2	9
3	19

FONTE: O autor (2013).

Percebe-se que a Fachada 3 não atende o mínimo necessário estipulado pela norma nacional, em nenhuma das 3 situações de medição. A contribuição da grelha de metal para o isolamento acústico do sistema combinado porta de vidro e grelha é de 2 dB.

Embora elas possam existir, não foram encontradas frestas durante as medições da Fachada 3. Os resultados abaixo dos estipulados pela norma brasileira podem ser atribuídos ao uso de materiais com propriedades acústicas desfavoráveis (metais leves e porta de vidro simples de uma única camada).

6.1.4 Fachada 4

A Fachada 4 refere-se a uma sala de estar de uma residência localizada no bairro Uberaba. A fachada da sala tem uma área de 10,23 m², sendo 5,32 m² ocupados por paredes de alvenaria e 4,91 m² por uma porta de correr de vidro, que dá acesso ao jardim da habitação. Durante a medição, foi utilizado o método global do alto falante, conforme norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



FIGURA 30 – FACHADA 4: SALA DE ESTAR DE RESIDÊNCIA NO BAIRRO UBERABA

FONTE: O autor (2013).

A Fachada 4 foi avaliada em duas situações diferentes: com a porta de correr de vidro totalmente fechada e com uma abertura – fresta – de 0,5 cm. A abertura foi deixada intencionalmente, com o intuito de simular frestas da ordem de grandeza comumente encontradas na construção civil brasileira.

1) Situação 1 – Porta de vidro totalmente fechada;

A figura 31 abaixo ilustra a situação 1, em que a porta de vidro foi fechada completamente.



FIGURA 31 – CABO PLANO PASSANDO PELA PORTA DA FACHADA 4 COMPLETAMENTE FECHADA

FONTE: O autor (2013).

Como a norma brasileira NBR 15.575-4 não dispõe sobre níveis de isolamento sonoro para apartamentos que não sejam dormitórios, faz-se necessário o uso de normas estrangeiras para a comparação desta situação. A edificação em estudo encontra-se em uma zona residencial relativamente tranquila, equivalente à Zona Sensível da Lei de Portugal de 2007 (ABNT, 2013; PORTUGAL, 2007).

Desta forma, a diferença padronizada de nível ponderada deve atingir o valor mínimo de $D_{2m,nT,w} = 28$ dB, referente a edificações habitacionais localizadas neste tipo de zoneamento. Verifica-se, através da medição realizada, que a fachada em estudo oferece um isolamento de $D_{ls,2m,nT,w} = 26$ dB, estando, portanto, abaixo do valor mínimo preconizado pela lei estrangeira.

2) Situação 2 – Porta de vidro aberta em 0,5 cm;

A figura 32, a seguir, ilustra a situação na qual foi deixada, intencionalmente, uma fresta de aproximadamente 0,5 cm entre as duas folhas de vidro da porta da Fachada 4.



FIGURA 32 – CABO PLANO PASSANDO PELA PORTA DA FACHADA 4 COM ABERTURA DE 0,5 CM

FONTE: O autor (2013).

A abertura foi deixada para que se fosse avaliado o impacto causado por frestas nos níveis de isolamento sonoro de fachadas. Foi determinada arbitrariamente uma fresta de aproximadamente 0,5 cm. Este valor tem a ordem de grandeza condizente com condições reais de vários elementos construtivos das cidades brasileiras, como, por exemplo, as frestas encontradas na Fachada 2, apresentada na seção 6.1.2.

O valor determinado para a diferença padronizada de nível ponderada da Fachada 4, situação 2 foi de $D_{ls,2m,nT,w} = 24$ dB, estando novamente abaixo do valor mínimo recomendado pela norma estrangeira (28 dB). Percebe-se um decréscimo de 2 dB (de 26 para 24 dB) entre as situações 1 e 2, onde foi criada uma fresta proposital. O teste com a fresta corrobora o efeito perceptível

subjetivamente: a falta de vedação em um elemento de separação entre dois ambientes deteriora a qualidade do isolamento acústico entre os mesmos.

Durante as medições da Fachada 4, verificou-se que existe dificuldade para abrir e fechar a porta de vidro devido ao atrito gerado entre a guia de correr e a parte inferior da porta. Esta imperfeição construtiva pode também gerar frestas, e é atribuída à baixa qualidade da mão de obra ou falta de manutenção. Ademais, o material construtivo utilizado (porta de correr de vidro simples, com uma única camada) não proporciona um desempenho de isolamento sonoro elevado, o que explica o desempenho abaixo do mínimo estipulado pelo regulamento português.

6.1.5 Fachada 5

A Fachada 5 refere-se à sala de aula PG-06, localizada no campus Centro Politécnico da UFPR, no bairro Jardim das Américas. A fachada da sala de aula tem uma área de 37,86 m², sendo 17,36 m² ocupados por paredes de alvenaria e 20,5 m² ocupados por janelas de vidro e vitrais. Durante a medição, foi utilizado o método global do alto falante, conforme norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



FIGURA 33 – FACHADA 5: SALA DE AULA EM UNIVERSIDADE LOCALIZADA NO BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS

FONTE: O autor (2013).

A medição foi realizada com a sala desocupada, atendendo a todos os requisitos solicitados pela norma ISO 140-5 (1998).

Da mesma forma que a Fachada 4, a Fachada 5, referente a uma sala de aula, não está especificada na norma brasileira NBR 15.575-4, que trata exclusivamente de dormitórios. Recorreu-se, novamente, ao RRAE de Portugal de 2008 para a comparação do nível medido com o nível mínimo estabelecido por norma para o isolamento acústico de salas de aula.

O campus Centro Politécnico da UFPR está localizado em uma área exclusivamente educacional, equivalente à Zona Sensível do RGR de Portugal de 2007. O nível mínimo a ser atingido pela diferença padronizada de nível ponderada para fachadas de edifícios escolares neste zoneamento é de $D_{2m,nT,w} = 28$ dB.

Através da medição realizada, verificou-se que a Fachada 5 oferece um isolamento acústico de $D_{ls,2m,nT,w} = 28$ dB, colocando a sala de aula PG-06 dentro do recomendado pela norma portuguesa, em seu limite mínimo aceitável.

A sala de aula em questão apresenta paredes espessas de alvenaria (aproximadamente 25 cm de espessura), cobertas com uma camada de lajotas, que garantem níveis elevados de isolamento sonoro. As janelas de fechar de vidro simples, entretanto, não oferecem uma qualidade acústica tão elevada, reduzindo o nível do isolamento da fachada segundo o parâmetro diferença padronizada de nível ponderada.

6.1.6 Fachada 6

A Fachada 6 refere-se a um dormitório de um quarto no segundo andar de uma residência localizada no bairro Uberaba. A fachada do dormitório tem 9,13 m² de área, sendo 5,95 m² ocupados por paredes de alvenaria e 3,18 m² por uma porta de correr de vidro simples, que dá acesso a uma varanda. Durante a medição, foi utilizado o método global do alto falante, conforme norma ISO 140-5 (ISO, 1998).

Durante o estudo da Fachada 6, foram consideradas duas situações: a porta de vidro totalmente fechada e a porta de vidro com uma abertura de aproximadamente 0,5 cm, a fim de simular uma fresta para fins de estudo.

1) Situação 1 – Porta de vidro totalmente fechada;

A figura 34 abaixo ilustra a situação 1 da Fachada 6, com a porta de vidro totalmente fechada:



FIGURA 34 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 1: PORTA DE VIDRO COMPLETAMENTE FECHADA

FONTE: O autor (2013).



FIGURA 35 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 1: PORTA DE VIDRO FECHADA. DETALHE PARA O CABO PLANO

FONTE: O autor (2013).

O valor determinado para a diferença padronizada de nível ponderada encontrado para o isolamento acústico deste dormitório foi de $D_{ls,2m,nT,w} = 21$ dB. Como a residência encontra-se na classe de ruído II segundo a NBR 15.575-4, o valor mínimo a ser atendido deve ser de $D_{2m,nT,w} = 25$ dB. A Fachada 6 está, portanto, em desconformidade com a norma nacional.

2) Situação 2 – Porta de vidro aberta em 0,5 cm;

Novamente, o objetivo de deixar uma abertura proposital de cerca de 0,5 cm é simular os efeitos causados por frestas comumente encontradas na construção civil nacional.

A figura 36 abaixo ilustra a condição da Fachada 6, situação 2:



FIGURA 36 – FACHADA 6, SITUAÇÃO 2: PORTA DE VIDRO ABERTA EM 0,5 CM. DETALHE PARA FRESTA

FONTE: O autor (2013).

A diferença padronizada de nível ponderada determinada para a Fachada 6, situação 2 foi de $D_{ls,2m,nT,w} = 18$ dB. A fachada, que já estava em desconformidade com a norma brasileira, apresentou sua condição agravada com a fresta. Houve um decréscimo de 3 dB (de 21 para 18 dB) na eficiência do isolamento sonoro segundo o parâmetro $D_{2m,nT,w}$ da Fachada 6 quando uma fresta foi gerada. O resultado foi próximo ao observado na Fachada 4, que apresentou uma diminuição de 2 dB para o parâmetro quando uma abertura de mesma proporção foi deixada.

Embora elas possam existir, não foram encontradas frestas durante as medições da Fachada 6. Os resultados abaixo dos estipulados pela norma brasileira podem ser atribuídos ao uso de materiais com propriedades acústicas desfavoráveis (metais leves e porta de vidro simples de uma única camada).

6.1.7 Fachada 7

A Fachada 7 refere-se à fachada externa, de frente para a rua, da sala de estar de uma residência localizada no bairro Uberaba. A fachada é constituída por paredes de alvenaria, uma porta de madeira pesada e um vitral que se prolonga até o segundo andar da casa, acompanhando uma escada interna, conforme ilustra a figura 37 abaixo.



FIGURA 37 – FACHADA 7: PORTA DE MADEIRA, PAREDES DE ALVENARIA E VITRAL

FONTE: O autor (2013).

Como o ruído de tráfego não é contínuo em frente à habitação, que está situada em uma rua tranquila em local de zoneamento predominantemente residencial, o uso do mesmo não foi possível para que se efetuasse a medição. Desta forma, foi utilizado o método global do alto falante para a execução da medição, conforme recomenda a norma ISO 140-5 (ISO, 1998).



FIGURA 38 – SET DE EQUIPAMENTOS PARA MEDIÇÃO ACÚSTICA DA FACHADA 7. DETALHE PARA MICROFONE À ESQUERDA E FONTE SONORA À DIREITA

FONTE: O autor (2013).

Foi determinada uma diferença padronizada de nível ponderada de $D_{ls,2m,nT,w} = 29$ dB nesta medição. Como não há recomendações na norma nacional NBR 15.575-4 acerca do isolamento acústico de salas de estar, é necessário fazer uso de normas estrangeiras, como a portuguesa. De acordo com esta, o valor mínimo a ser alcançado pelo parâmetro $D_{2m,nT,w}$ em residências como esta (situada em local equivalente à Zona Sensível da Lei de Portugal de 2007) é de 28 dB. Desta forma, a Fachada 7 encontra-se dentro do limite aceitável recomendado por norma europeia (PORTUGAL, 2007; PORTUGAL, 2008).

O valor $D_{ls,2m,nT,w} = 29$ dB, mais alto que os encontrados em todas as fachadas expostas anteriormente, é atribuído à boa vedação apresentada pela Fachada 7. O vitral é hermeticamente fechado junto às paredes de alvenaria. A porta de madeira contém um emborrachado no rodapé que faz pressão contra o chão do *hall* de entrada, conferindo isolamento hidráulico, acústico e térmico. Houve, inclusive, dificuldade para a passagem do cabo plano pela porta durante a execução desta medição. A porta é provida, ainda, de fechaduras do tipo tetra chave, que atenuam os efeitos da perda de isolamento sonoro, já que não expõe dois ambientes adjacentes com aberturas diretas, como as fechaduras de chaveamento comum.

Convém lembrar que a medição acústica deste tipo de fachada é problemática quando se utiliza o critério R'_w para comparação – caso de países como a Alemanha (DIN, 1989). Quando a fachada possui 3 ou mais elementos construtivos (neste caso as paredes, porta de madeira e vitral), não se torna mais óbvio qual elemento é responsável pela transmissão da maior parte da energia acústica entre dois ambientes. Como a intuição pode levar ao erro, é necessária a execução de mais medições para fins de comparação em se tratando do índice de redução sonora ponderado – R'_w .

6.1.8 Fachada 8

A Fachada 8 refere-se a um dormitório localizado no 6º andar de um prédio residencial no bairro Centro. O mesmo localiza-se no cruzamento de duas vias de tráfego intenso de carros, motos e ônibus. A fachada do dormitório tem 10,92 m² de área, sendo 8,22 m² ocupados por paredes de alvenaria e 2,7 m² por uma janela acústica de vidro duplo, conforme a figura 39 a seguir.



FIGURA 39 – SET DE EQUIPAMENTOS MONTADOS PARA MEDIÇÃO DA FACHADA 8

FONTE: O autor (2013).

Para a medição desta fachada, foi utilizado o método global do ruído de tráfego rodoviário, conforme preconiza a norma ISO 140-5. Para posicionar o microfone externo, a fim de determinar o nível $L_{1,2m}$, o mesmo foi fixado a uma vara de pescar suspensa na varanda de um quarto adjacente, utilizada como haste de sustentação para manter o microfone a 2 m de distância da fachada. O procedimento pode ser visualizado nas figuras 40 e 41 a seguir (ISO, 1998; FERREIRA, 2004):

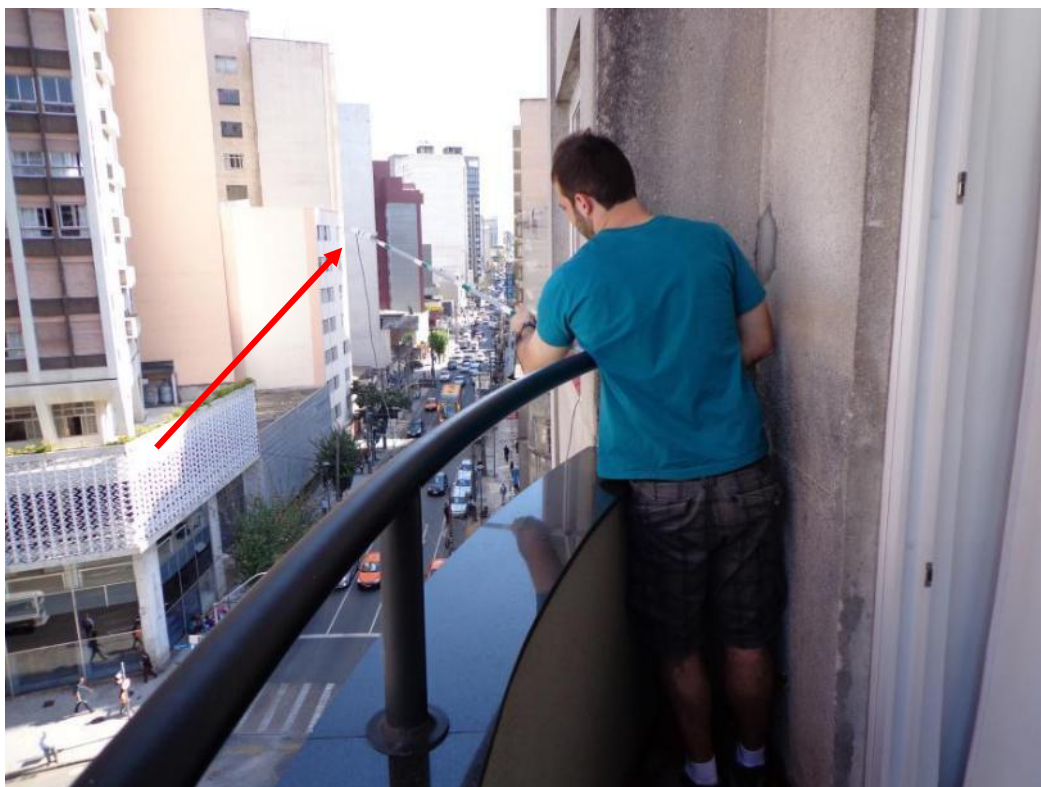


FIGURA 40 – USO DE VARA DE PESCAR PARA SUSTENTAÇÃO DO MICROFONE EXTERNO DURANTE MEDIÇÕES NA FACHADA 8

FONTE: O autor (2013).



FIGURA 41 – USO DE VARA DE PESCAR PARA SUSTENTAÇÃO DO MICROFONE EXTERNO DURANTE MEDIÇÕES NA FACHADA 8 – VISTA INTERNA DO DORMITÓRIO

FONTE: O autor (2013).

A Fachada 8 foi avaliada em duas situações diferentes: deixando-se a janela acústica hermeticamente fechada e deixando-a com uma abertura de aproximadamente 0,5 cm, com o propósito de estudar efeitos causados por frestas. Os resultados são apresentados a seguir:

1) Situação 1 – Janela acústica completamente fechada;

A janela acústica é provida de vidros duplos de 4 mm de espessura, fixados por batentes de PVC, similares ao item 98 do Anexo I. A figura 42 ilustra a medição da Fachada 8, situação 1.



FIGURA 42 – JANELA ACÚSTICA DA FACHADA 8 COMPLETAMENTE FECHADA

FONTE: O autor (2013).

O valor determinado para a diferença padronizada de nível ponderada foi de $D_{tr,2m,nT,w} = 30$ dB. A habitação é enquadrada na classe III de ruído conforme a NBR 15.575-4, onde o limite mínimo a ser atendido para o parâmetro $D_{2m,nT,w}$ é de 30 dB. Desta forma, a Fachada 8 encontra-se dentro da faixa permissível de conforto acústico, em seu limiar mínimo.

É notável que a janela acústica teve desempenho determinante para este caso. Sem a mesma (ou com a janela aberta), a sensação de desconforto acústico no dormitório é acentuada devido ao intenso tráfego de veículos, comprometendo o desenvolvimento de atividades simples do cotidiano, como dormir ou ler.

2) Situação 2 – Janela acústica aberta em 0,5 cm;

A figura 43 abaixo apresenta a fresta deixada propositalmente à janela acústica da Fachada 8, de aproximadamente 0,5 cm:



FIGURA 43 – JANELA ACÚSTICA DA FACHADA 8 COM FRESTA DE 0,5 CM

FONTE: O autor (2013).

A diferença padronizada de nível ponderada determinada para a Fachada 8, situação 2 foi de $D_{tr,2m,nT,w} = 28$ dB. A fachada apresentou um decréscimo de 2 dB (de 30 para 28 dB) na eficiência do isolamento acústico segundo o parâmetro $D_{tr,2m,nT,w}$, quando comparada à mesma completamente fechada. O resultado foi próximo aos observados nas Fachadas 4 e 6, que apresentaram diminuições de 2 e 3 dB respectivamente, segundo o parâmetro avaliado.

6.1.9 Tabela de resultados

Com o fim de facilitar a visualização de todas as medições da diferença padronizada de nível ponderada realizadas, foi inserida a tabela 17 a seguir:

TABELA 17 – COMPARAÇÃO DE VALORES DE $D_{2m,nT,w}$ MEDIDOS COM AS NORMAS

CASO	FACHADA	TIPO	$D_{2m,nT,w}$ medido* [dB]	$D_{2m,nT,w}$ mínimo segundo NBR 15.575-4 [dB]	$D_{2m,nT,w}$ mínimo segundo RRAE de Portugal [dB]
1	1	dormitório	23	25	28
2	2	dormitório	22	25	28
3	3, Situação 1	dormitório	17	25	28
4	3, Situação 2	dormitório	9	25	28
5	3, Situação 3	dormitório	19	25	28
6	4, Situação 1	sala de estar	26	não especificado	28
7	4, Situação 2	sala de estar	24	não especificado	28
8	5	sala de aula	28	não especificado	28
9	6 - Situação 1	dormitório	21	25	28
10	6 - Situação 2	dormitório	18	25	28
11	7	sala de estar	29	não especificado	28
12	8 - Situação 1	dormitório	30**	30	33
13	8 - Situação 2	dormitório	28	30	33

FONTE: PORTUGAL (2008); ABNT (2013); O autor (2013).

*Valores em verde atenderam aos requisitos mínimos das normas;

*Valores em vermelho ficaram aquém do estabelecido;

**O caso 12 atendeu apenas à norma nacional, estando abaixo do limite estabelecido pela norma portuguesa.

A média dos valores medidos foi de 22 dB. O desvio padrão foi 5,74 dB.

6.2 SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Com o intuito de apresentar possíveis soluções para algumas fachadas que apresentaram desconformidades com as normas no quesito de isolamento acústico, simulações foram realizadas no *software BASTIAN* conforme as seções seguintes.

6.2.1 Simulação da Fachada 1

A Fachada 1 foi simulada trocando-se a janela existente por três modelos de janelas acústicas:

- Janela 1 – Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 4 mm. $R_w = 30$ dB;
- Janela 2 – Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 6 mm. $R_w = 34$ dB;
- Janela 3 – Vidro de 10 mm, camada de ar e vidro de 12 mm. $R_w = 39$ dB;

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 18 a seguir:

TABELA 18 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 1

Situação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Medição da situação atual	23
Simulação da situação atual	24,7
Simulação com Janela 1	41,4
Simulação com Janela 2	43,8
Simulação com Janela 3	46,1

FONTE: O autor (2013).

Observando-se a tabela 18, percebe-se que a mudança da janela atual por qualquer uma das três simuladas ultrapassaria o valor mínimo recomendado pela NBR 15.575-4 ($D_{2m,nT,w} = 25$ dB). Ainda, colocaria a Fachada 1 no nível de desempenho superior segundo a norma, que exige $D_{2m,nT,w} \geq 35$ dB para esta categoria (ver tabela 9).

6.2.2 Simulação da Fachada 2

A Fachada 2 foi simulada trocando-se a janela existente por três modelos de janelas acústicas:

- Janela 1 – Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 4 mm. $R_w = 30$ dB;

- Janela 2 – Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 6 mm. $R_w = 34$ dB. Similar aos itens 92 e 93 do Anexo I;
- Janela 3 – Vidro de 10 mm, camada de ar e vidro de 12 mm. $R_w = 39$ dB;

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 19 a seguir:

TABELA 19 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 2

Situação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Medição da situação atual	22
Simulação da situação atual	23,2
Simulação com Janela 1	39,6
Simulação com Janela 2	41,6
Simulação com Janela 3	45,2

FONTE: O autor (2013).

Observando-se a tabela 19, percebe-se que a mudança da janela atual por qualquer uma das três simuladas ultrapassaria o valor mínimo recomendado pela NBR 15.575-4 ($D_{2m,nT,w} = 25$ dB). Ainda, colocaria a Fachada 2 no nível de desempenho superior segundo a norma, que exige $D_{2m,nT,w} \geq 35$ dB para esta categoria (ver tabela 9).

A mudança da janela atual para a Janela 2 da simulação tem um valor de mercado variando entre R\$ 3.360,00 e R\$ 3.920,00 (valores pesquisados em setembro de 2013) de acordo com o Anexo I.

6.2.3 Simulação da Fachada 3

Para o estudo da Fachada 3, foi considerada apenas a situação 1, na qual tem-se apenas a porta de correr de vidro fechada, desprezando-se a grelha de metal. A fachada foi simulada trocando-se a porta de vidro existente por outros 2 modelos de portas acústicas:

- Porta 1 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 4 mm. $R_w = 30$ dB;

- Porta 2 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 6 mm. $R_w = 34$ dB. Similar ao item 135 do Anexo I;
- Porta 3 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 10 mm, camada de ar e vidro de 12 mm. $R_w = 39$ dB;

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 20 a seguir:

TABELA 20 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 3

Situação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Medição da situação atual	17
Simulação da situação atual	19,3
Simulação com Porta 1	37
Simulação com Porta 2	39,2
Simulação com Porta 3	43,1

FONTE: O autor (2013).

Observando-se a tabela 20, percebe-se que a mudança da porta atual por qualquer uma das três simuladas ultrapassaria o valor mínimo recomendado pela NBR 15.575-4 ($D_{2m,nT,w} = 25$ dB). Ainda, colocaria a Fachada 3 no nível de desempenho superior segundo a norma, que exige $D_{2m,nT,w} \geq 35$ dB para esta categoria (ver tabela 9).

A mudança da porta atual para a Porta 2 da simulação tem um valor de mercado aproximado de R\$ 3.050,00 (valor pesquisado em setembro de 2013) de acordo com o Anexo I.

6.2.4 Simulação da Fachada 4

A Fachada 4 foi simulada trocando-se a porta existente por três modelos de portas acústicas:

- Porta 1 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 4 mm. $R_w = 30$ dB;
- Porta 2 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 6 mm. $R_w = 34$ dB;

- Porta 3 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 10 mm, camada de ar e vidro de 12 mm. $R_w = 39$ dB;

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 21 a seguir:

TABELA 21 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 4

Situação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Medição da situação atual	26
Simulação da situação atual	25,4
Simulação com Porta 1	43,0
Simulação com Porta 2	45,5
Simulação com Porta 3	47,9

FONTE: O autor (2013).

Observando-se a tabela 21, percebe-se que a mudança da porta atual por qualquer uma das três simuladas ultrapassaria o valor mínimo recomendado pelo RRAE de Portugal ($D_{2m,ls,nT,w} = 28$ dB).

6.2.5 Simulação da Fachada 6

A Fachada 6 foi simulada trocando-se a porta existente por três modelos de portas acústicas:

- Porta 1 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 4 mm. $R_w = 30$ dB;
- Porta 2 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 4 mm, camada de ar e vidro de 6 mm. $R_w = 34$ dB. Similar ao item 135 da tabela 5;
- Porta 3 – porta de balcão acústica embutida. Vidro de 10 mm, camada de ar e vidro de 12 mm. $R_w = 39$ dB;

Os resultados obtidos estão expostos na tabela 22 a seguir:

TABELA 22 – SIMULAÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA FACHADA 6

Situação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Medição da situação atual	21
Simulação da situação atual	22,5
Simulação com Porta 1	39,3
Simulação com Porta 2	43,2
Simulação com Porta 3	45,8

FONTE: O autor (2013).

Observando-se a tabela 22, percebe-se que a mudança da porta atual por qualquer uma das três simuladas ultrapassaria o valor mínimo recomendado pela NBR 15.575-4 ($D_{2m,nT,w} = 25$ dB). Ainda, colocaria a Fachada 6 no nível de desempenho superior segundo a norma, que exige $D_{2m,nT,w} \geq 35$ dB para esta categoria (ver tabela 9).

A mudança da porta atual para a Porta 2 da simulação tem um valor de mercado aproximado de R\$ 3.050,00 (valor pesquisado em setembro de 2013) de acordo com o Anexo I.

6.3 MAPEAMENTO SONORO – ESTUDO DE CASO

O mapa acústico tridimensional, a seguir, possibilita a visualização dos níveis de pressão sonora equivalentes que chegam às fachadas das edificações do estudo de caso. A determinação dos níveis é feita através da comparação das cores do mapa com a legenda da figura 45.

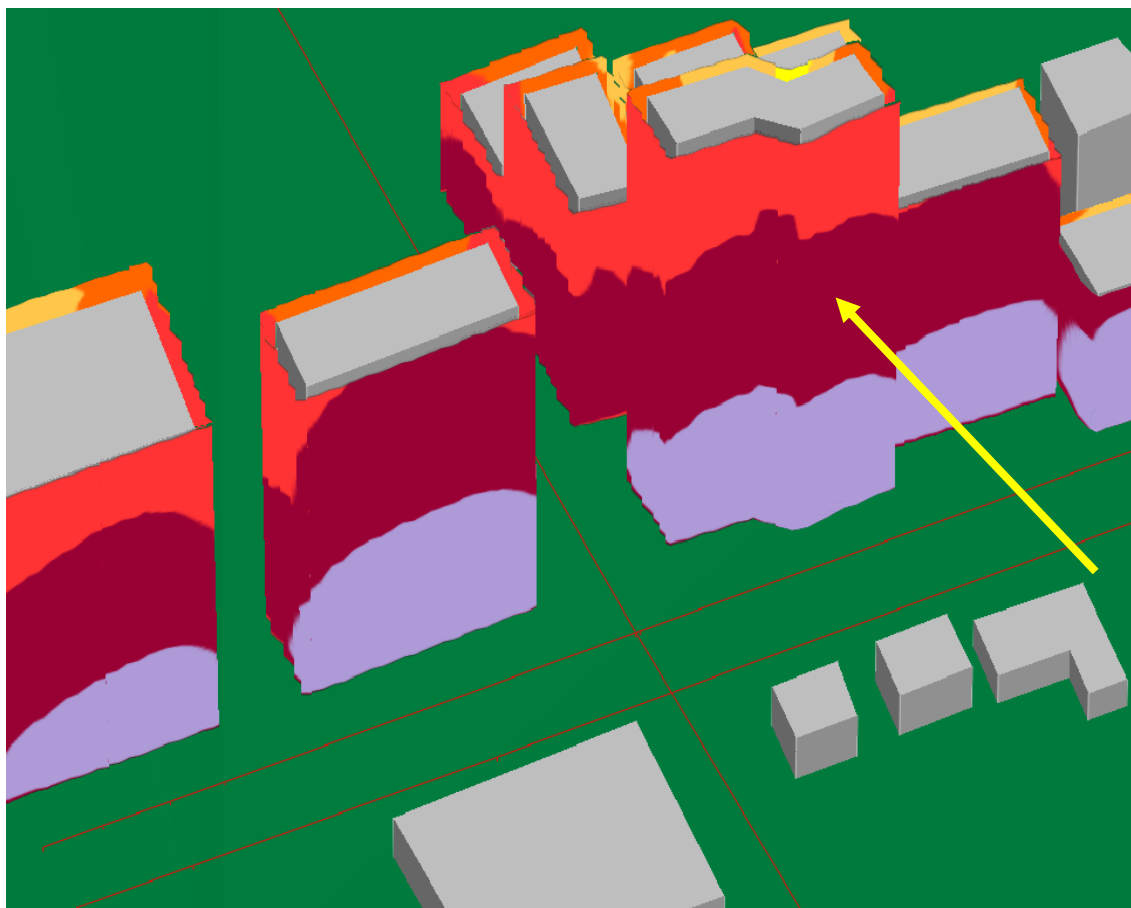


FIGURA 44 – MAPA ACÚSTICO TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO DO ESTUDO DE CASO. DESTAQUE PARA EDIFÍCIO MAIS ALTO (82 METROS).

FONTE: O autor (2013).

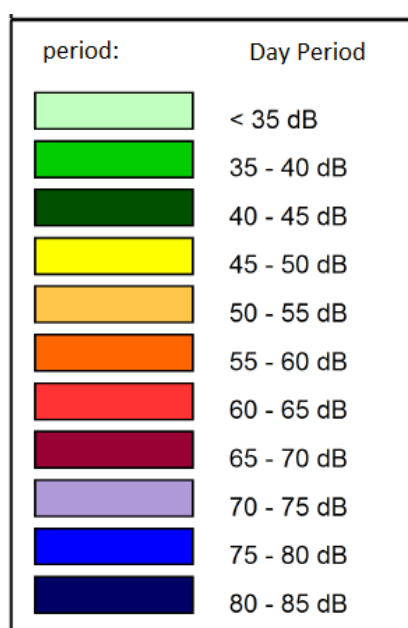


FIGURA 45 – LEGENDA DE CORES

FONTE: O autor (2013).

Através da observação do mapa, verifica-se que os prédios mais altos apresentam um perfil vertical com três níveis diferentes de pressão sonora equivalente atuantes nas fachadas: 70 a 75 dB nos pavimentos inferiores, 65 a 70 dB nos pavimentos intermediários e 60 a 65 dB nos pavimentos superiores.

É possível determinar até qual altura aproximada cada diferente nível de pressão sonora incide nas edificações. Essa determinação é feita através da comparação das dimensões do mapa tridimensional com as dimensões reais dos edifícios.

Selecionou-se o edifício mais alto da região (com 82 metros, destacado na figura 44) como estudo de caso. Nas regiões de transição entre as faixas de nível sonoro incidentes foi feito um arredondamento para cima, considerando-se os níveis de pressão sonora mais elevados como os atuantes. Este procedimento foi adotado para fins de segurança no dimensionamento do isolamento sonoro das fachadas.

Os níveis de ruído mais intensos (70 a 75 dB) atingem a edificação em uma altura que varia de 0 até 25 m, aproximadamente (considerados a partir do nível do solo). Estão sujeitos a esse nível de pressão sonora, portanto, a fachada da galeria comercial (4 m de altura) e as fachadas do 1º ao 7º andares (3 metros de altura para cada andar, totalizando 21 metros).

Os níveis intermediários de ruído (65 a 70 dB) atingem a edificação em uma altura que varia de 25 até 64 m, aproximadamente (considerados a partir do nível do solo). Estão sujeitos a esse nível de pressão sonora, portanto, as fachadas do 8º ao 20º andares (3 metros de altura para cada andar, totalizando 39 metros).

Os níveis de ruído menos intensos (60 a 65 dB) atingem a edificação em uma altura que varia de 64 a 82 m, aproximadamente (considerados a partir do nível do solo). Estão sujeitos a esse nível de pressão sonora, portanto, as fachadas do 21º ao 26º andares (3 metros de altura para cada andar, totalizando 18 metros).

A figura 46 a seguir ilustra a situação descrita nos parágrafos anteriores:

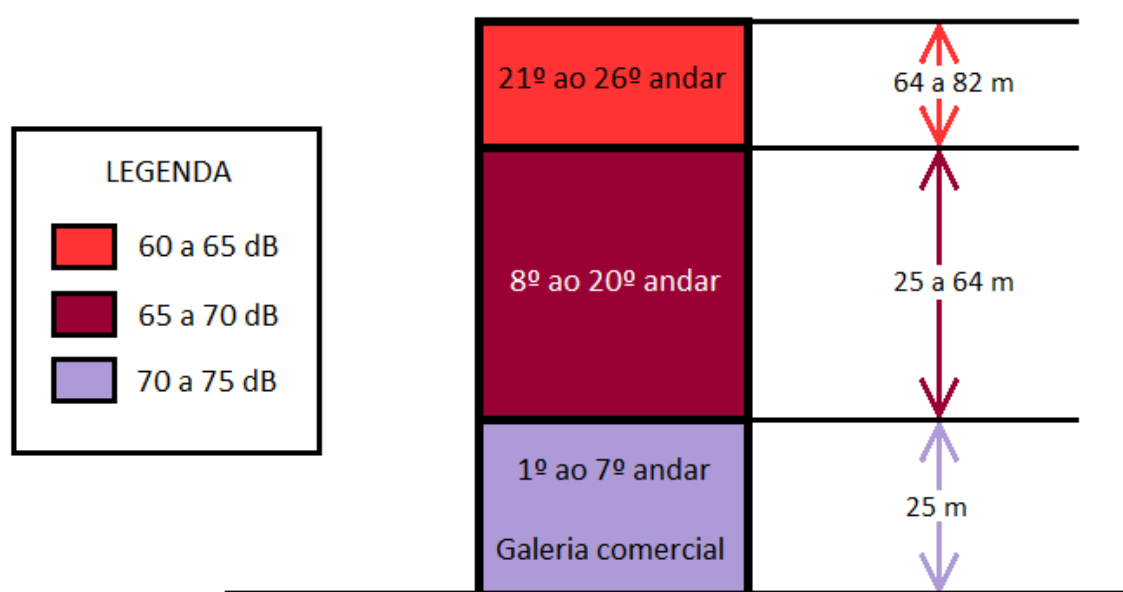


FIGURA 46 – PERFIL DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA QUE ATINGEM A FACHADA – ESTUDO DE CASO

FONTE: O autor (2013).

7 DISCUSSÕES

7.1 VALORES MEDIDOS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL PONDERADA

Considerando todas as medições realizadas e analisando os dados apresentados na tabela 17, é possível verificar que o isolamento acústico das fachadas de edificações brasileiras não é ideal. Aproximadamente 77% dos casos avaliados (10 de 13) não atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas. O valor da média das medições da diferença padronizada de nível ponderada foi de 22 dB, estando abaixo dos valores recomendados pelas normas brasileira e portuguesa para ambientes urbanos.

Quando se observa os efeitos provocados pelas frestas deixadas intencionalmente, comprova-se o que é possível sentir subjetivamente: há uma deterioração na qualidade do isolamento acústico. As Fachadas 4, 6 e 8 apresentaram perdas da ordem de 2 a 3 dB segundo o parâmetro $D_{2m,nT,w}$ quando aberturas foram inseridas. A Fachada 8, que encontrava-se em acordo com a norma NBR 15.575-4, passou a não atender ao valor mínimo da mesma quando a janela acústica não estava completamente fechada.

Percebe-se que há diferenças entre o modelo de construção nacional e o de países desenvolvidos. Estes utilizam materiais mais leves e de montagem rápida em larga escala para paredes e forros, além de janelas e portas que garantem um melhor isolamento acústico e térmico (BORDEAU, 1999; ABIKO, 2003).

Durante a execução das medições, foram percebidos problemas sistemáticos da construção civil brasileira: o uso de materiais com propriedades acústicas desfavoráveis e imperfeições construtivas são responsáveis pelo baixo desempenho do isolamento sonoro da maior parte das edificações avaliadas. Os motivos que geram essas imperfeições construtivas são: a baixa qualidade da mão de obra, o uso de materiais não padronizados, a falta de manutenção e o desconhecimento sobre o fato. Enquanto as paredes de alvenaria são construídas através de um processo quase artesanal (tijolo por tijolo), garantindo edificações pesadas e de altos valores de R_w , portas e janelas são o elo fraco no isolamento sonoro das edificações nacionais (POLLI, 2007).

7.2 SIMULAÇÕES DE ISOLAMENTO SONORO

Ao todo, foram realizadas simulações de isolamento sonoro de cinco fachadas de diferentes ambientes construídos e previamente medidos. Com os elementos construtivos atualmente presentes, nenhuma destas cinco fachadas simuladas está atendendo aos requisitos mínimos estipulados pela NBR 15.575 ou pelo RRAE de Portugal.

Durante as simulações, mantiveram-se as paredes dos recintos com suas características originais, ao passo que portas ou janelas foram trocadas por três diferentes modelos. Destes, dois modelos estão entre os mais modestos presentes na biblioteca do *software BASTIAN* – portas e janelas com vidros duplos de 4 mm e 6 mm de espessura ou portas e janelas com vidros duplos de 4 mm e 4 mm de espessura. O outro modelo de portas e janelas (com vidro duplo de 10 mm e 12 mm) é mais sofisticado, com características acústicas e construtivas superiores e valor de mercado mais elevado.

Em todas as simulações, todas as fachadas superaram os requisitos mínimos estipulados pelas normas de forma significativa. Essas simulações são o ponto de partida para que se dimensione de forma apropriada a substituição de algum elemento da fachada com o propósito de proporcionar um isolamento sonoro adequado a um recinto. Os resultados obtidos demonstram que é possível enquadrar todas as fachadas avaliadas dentro dos requisitos das normas apenas com a substituição de portas e janelas, sem que seja necessário reformas nas paredes das edificações (todas de tijolos e alvenaria). Em alguns casos, o valor de mercado da substituição de portas e janelas foi incluído com o fim de apresentar ao leitor ordens de grandeza sobre as quantias monetárias envolvidas.

É importante ressaltar que os modelos mais simples de portas e janelas encontradas na biblioteca do *software* são amplamente utilizados nos países desenvolvidos, por motivos de isolamento sonoro e térmico. Recomenda-se o uso dos mesmos em maior escala também na construção civil nacional, com o propósito de sanar os efeitos adversos provocados pelo isolamento sonoro insuficiente combinado aos altos níveis de pressão sonora a que os centros urbanos estão expostos.

7.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO TRIDIMENSIONAL E DIMENSIONAMENTO DO ISOLAMENTO SONORO – ESTUDO DE CASO

O mapeamento acústico tridimensional apontou que existem três diferentes níveis de pressão sonora equivalente incidindo sobre os edifícios mais altos da região de estudo. O prédio mais alto da região, com 82 metros, foi tomado como estudo de caso. Através da comparação direta entre as dimensões do mapa acústico e as dimensões reais do edifício, foram determinadas as diferentes alturas sobre as quais atuam os diferentes níveis sonoros.

Cada nível de pressão sonora externa exige um isolamento sonoro de fachada condizente com o mesmo. Embora não haja, no Brasil, nenhuma norma técnica que regulamente a qualidade do isolamento acústico de edificações em função da exposição aos níveis sonoros de forma quantitativa, pode-se fazer uso de normas estrangeiras para fins de dimensionamento. É o caso da norma alemã DIN 4.109 (1989), escolhida como critério de referência para o dimensionamento do isolamento sonoro neste estudo de caso.

A tabela 12, na seção 4.4, apresenta o índice de redução sonora de fachada em função do nível externo do ruído de tráfego de acordo com a norma alemã. Aqui foi reproduzida apenas a parte da tabela necessária para o estudo de caso:

TABELA 23 – ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DE FACHADA EM FUNÇÃO DO NÍVEL EXTERNO DO RUÍDO DE TRÁFEGO – ESTUDO DE CASO

Ruído externo	Salas de estar, dormitórios, salas de aula e similares
L_{eq} (dB)	R'_w mínimo da fachada (dB)
61 até 65	35
66 até 70	40
71 até 75	45

FONTE: DIN (1989).

Cabe ressaltar que os valores de nível de pressão sonora equivalente medidos para calibrar o modelo (73,3 dB(A) na rua Mariano Torres e 70,5 dB(A) na rua Benjamin Constant) estão acima dos permissíveis pela NBR 10.151 que é de 60 dB(A) (área mista, com vocação comercial e administrativa – período

diurno). Os valores medidos estão, também, acima do permissível pela Lei Municipal de Curitiba 10.625, que é de 65 dB(A) (Zona Central ZC, período diurno). Assim, as medições apontam a existência de poluição sonora no local.

Os pavimentos inferiores do edifício – compostos pela galeria comercial e 1º ao 7º andares – estão expostos a níveis de ruído de tráfego de 70 a 75 dB. Devem, portanto, ser providos com fachadas que garantam um índice de redução sonora R_w mínimo de 45 dB.

Os pavimentos intermediários do edifício – compostos pelo 8º ao 20º andares – estão expostos a níveis de ruído de tráfego de 65 a 70 dB de ruído de tráfego. Devem, portanto, ser providos com fachadas que garantam um índice de redução sonora R_w mínimo de 40 dB.

Os pavimentos superiores do edifício – compostos pelo 21º ao 26º andares – estão expostos a níveis de ruído de tráfego de 60 a 65 dB. Devem, portanto, ser providos com fachadas que garantam um índice de redução sonora R_w mínimo de 35 dB.

Nas regiões de transição entre os níveis de pressão sonora, deve-se considerar a situação mais severa de ruído e optar-se pela classe superior de isolamento sonoro. Este procedimento deve ser adotado com o propósito de segurança, a fim de não subdimensionar o isolamento, garantindo conforto acústico aos ocupantes das edificações.

Depois de determinado o nível de isolamento sonoro a ser alcançado, deve ser seguido o procedimento descrito na seção 5.2, utilizando um programa computacional comercial para que se determine os elementos que irão compor a fachada.

Esta metodologia combinada de mapeamento acústico e simulação de isolamento sonoro é inovadora e de grande valia para o dimensionamento do isolamento sonoro de fachadas de edificações com vários pavimentos.

Cabe-se destacar que este método pode representar uma grande economia de recursos para o projeto de edifícios altos ou de conjuntos habitacionais, garantindo conforto acústico a todos os ocupantes. Os pavimentos mais elevados não precisam de elementos componentes de fachadas com propriedades de isolamento tão elevadas quanto os pavimentos inferiores.

Quanto mais elevado é o índice de redução sonora de um elemento, maior a sua massa, seu número de camadas e os cuidados com instalação e vedação,

elevando o custo do mesmo. Desta forma, o superdimensionamento do isolamento sonoro deve ser evitado.

8 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta uma contribuição para um entendimento mais amplo da poluição sonora e da qualidade acústica de edificações nacionais.

O problema do ruído ambiental que afeta Curitiba e outras metrópoles brasileiras não tem solução única, sendo necessárias medidas em conjunto por parte da sociedade, cientistas e autoridades. Os níveis de emissão de ruído precisam ser diminuídos; os níveis de imissão, ou seja, que chegam aos receptores, também devem ser atenuados. Uma série de medidas é adotada em todo o mundo para que se atinja essa redução de ruídos no meio urbano. Entre elas, cabe citar: o uso de pavimentos menos ruidosos, o esforço da indústria para fabricar máquinas e veículos mais silenciosos, o uso de barreiras acústicas, o afastamento das residências das vias de grande tráfego, o esforço para reduzir o número de veículos nas ruas, campanhas de conscientização da população, legislação e fiscalização mais rigorosas, entre outras.

Neste contexto, o isolamento acústico de fachadas apresenta-se como uma medida importante de controle de poluição sonora – notadamente nos centros urbanos, onde o ruído de tráfego é responsável por danos ambientais deterioradores da qualidade de vida.

Treze fachadas de diferentes edificações de Curitiba foram avaliadas segundo seus níveis de isolamento sonoro. Observando-se os resultados obtidos por medições, verificou-se que 77% das fachadas analisadas estão em desconformidade com a norma brasileira e a lei portuguesa.

O estudo sobre frestas corroborou com a percepção subjetiva dos ocupantes dos recintos. Em duas janelas e em uma porta foram deixadas propositalmente aberturas de aproximadamente 0,5 cm, com o fim de simular o efeito causado por frestas corriqueiramente encontradas nas edificações nacionais. Nas três situações, houve decréscimos de 2 a 3 dB sobre o valor do parâmetro diferença padronizada de nível ponderada – $D_{2m,nT,w}$.

Os resultados encontrados apontam para a mesma direção do trabalho de outros pesquisadores: o Brasil apresenta problemas sistemáticos em relação à qualidade acústica de suas edificações. Durante as medições em campo foram detectadas imperfeições construtivas em várias edificações, além do uso de materiais com propriedades acústicas desfavoráveis, responsáveis pelo baixo

desempenho das fachadas avaliadas. Estas imperfeições, que acabam por gerar frestas e falta de vedação, são geradas pelos seguintes motivos: mau acabamento advindo da baixa qualidade da mão de obra, falta de padronização de materiais, falta de manutenção e negligência ou desconhecimento durante a fase do projeto da construção. Portas e janelas são o elo fraco do isolamento acústico da maioria das edificações no Brasil.

A norma brasileira NBR 15.575-4, primeira no Brasil a estabelecer critérios de desempenho sobre a qualidade acústica de habitações, entrou em vigor em 2012, sendo seu texto revisado em 2013. Apesar da importância da norma como diretriz para a melhoria da qualidade acústica de edificações, diversos pontos da mesma precisam de maior esclarecimento. Texto e conceitos ambíguos, conforme explicitado na seção 4.4, dificultam a interpretação da norma, além de suscitarem dúvidas em relação à tomada de ações visando ao controle de ruído.

Cinco fachadas que se encontram abaixo dos requisitos mínimos da norma brasileira foram submetidas a simulações computacionais, apresentando-se soluções de engenharia viáveis para o correto enquadramento das mesmas. Através da observação dos resultados, concluiu-se que não são necessárias alterações nas paredes, pisos e tetos das edificações: a substituição de portas e janelas de fachadas por modelos acústicos (comumente utilizados em países desenvolvidos) basta para garantir conforto aos usuários e atender aos requisitos das normas.

Produtos comerciais com valores de mercado pesquisados em 2013 foram sugeridos para a substituição dos materiais existentes, permitindo ao leitor um vislumbre sobre as quantias monetárias envolvidas neste tratamento acústico. O estudo constata que o isolamento acústico não é só necessário para fins de ergonomia como também pode ser interessante financeiramente: donos de imóveis têm seus bens valorizados quando os mesmos são providos de conforto acústico.

Foi apresentada uma sugestão de metodologia para o dimensionamento do isolamento sonoro de fachadas a fim de que as mesmas atendam aos requisitos de conforto segundo as normas. O uso de *softwares* comerciais como o *BASTIAN* demonstra-se de grande valia para profissionais da área, que podem determinar os elementos a ser incorporados por uma fachada sem que haja um superdimensionamento. Isto evita outro problema encontrado no Brasil: o

isolamento sonoro sem estudo prévio pode não atender aos padrões mínimos, ou extrapolá-los significativamente de forma desnecessária.

Através de um mapeamento acústico tridimensional, foram determinados os diferentes níveis de pressão sonora que atingem a fachada de um edifício tomado como estudo de caso. Conhecendo-se o perfil vertical de níveis sonoros incidentes, é possível determinar o isolamento sonoro necessário a cada pavimento de acordo com suas diferentes necessidades. A metodologia combinada de mapeamento acústico com dimensionamento de isolamento sonoro é inovadora e pode representar uma economia significativa de recursos no tratamento acústico de edificações, evitando o sub ou superdimensionamento do isolamento.

Por fim, esta dissertação de mestrado serve também como uma referência para os consumidores. Estes poderão cobrar medidas ativas por parte de construtores de imóveis e de autoridades, a fim de que haja regularização nas edificações conforme as normas vigentes, estando os responsáveis passíveis de multas e outras penalizações.

REFERÊNCIAS

1. ABIKO, A. K.; GONÇALVES, O. M.; CARDOSO, L. R. A. **O futuro da construção civil no Brasil** – Resultados de um estudo de prospecção tecnológica da cadeia produtiva da construção habitacional. São Paulo, 2003.
2. ANDERSSON, H.; JONSSON, L.; ÖGREN, M. "Property Prices and Exposure to Multiple Noise Sources: Hedonic Regression with Road and Railway Noise," *Environmental & Resource Economics*, European Association of Environmental and Resource Economists, vol. 45(1), pages 73-89, January 2010.
3. ARIZEMENDI, B. L. J. **Tratado fundamental de acustica em laedificacion**. Ed. Pamplona, 1980.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. **NBR 10.151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro; 2000.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT]. **NBR 15.575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro; 2013.
6. BELOJEVIC, G.; JACOVLEVIC, B.; ALESKSC, O. **Subjective Reaction for Traffic Noisewith Regard to some Personality Traits**. *Environmental International*, Yugoslavia, v. 23, n. 2,p. 221-226, 1997.
7. BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for community noise**. World Health Organization: Protection of the Human Environment, 1999.
8. BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group, 736 p., 2002.
9. BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. 1. Ed. 2006.
10. BORDEAU, L. **Sustainable development and the future of construction: a comparison of visions from various countries**. Building Research & Information, 1999.
11. BRÜEL & KJAER – **Brüel & Kjaer launches Predictor™ 7810 software**. Acessado em 20 de novembro de 2012. Disponível em <<http://www.bksv.co.uk/NewsEvents/News/UnitedKingdom/Predictor%206,-d-,1.aspx>>.
12. BRUEL & KJAER. **Predictor–Lima v.8.1 user guide**. Brüel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2010.
13. BRÜEL & KJAER – **Technical Documentation**. Building Acoustics System. For Modular Precision Sound Analyser Type 2260. 1996.
14. BUNN, F. **Avaliação da Poluição Sonora Gerada Pelo Tráfego Ferroviário na Cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), UFPR, 2013.

15. BUNN, F. **Impacto ambiental sonoro No trecho Sul da Linha Verde na cidade de Curitiba**, Curitiba: Trabalho de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2010.
16. BUNN, F.; FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P.H.T. **Avaliação da poluição sonora ambiental – normas e leis usadas no Brasil**. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, n.41, p. 47-54, 2009.
17. CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Theasauros, 2.^a Ed., 2010.
18. CASA CLAUDIA. **10 modelos de janelas acústicas**. Editora Abril. Publicado em 19 de fevereiro de 2009. Acessado em 03 de setembro de 2013. Disponível em <<http://casa.abril.com.br/materia/10-modelos-de-janelas-acusticas#3>>.
19. CHEREMISINOFF, N. P. **Noise control in industry: a practical guide**. Noyes Publications, New Jersey, USA, 1996.
20. CHO, D.S; MUN, S. **Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 11, November 2008, Pages 1120-1128.
21. COM, 2008 – Comissão das comunidades europeias - Comunicação da comissão ao parlamento europeu e ao conselho – Medidas de redução do ruído ferroviário aplicáveis à frota existente, Bruxelas 2008.
22. CRAIK, B. **What's in EN 12.354**. Edinburgh, 2002.
23. CROCKER, J. M. (editor). **Handbook of Noise and Vibration Control**. John Wiley & Sons, 2007.
24. CURITIBA. **Lei Nº. 9.800 de 03 de janeiro de 2000**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências.
25. CURITIBA. SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (SMMA). **Lei Nº. 10.625 de 19 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Paraná, 9 p., 2002.
26. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. **DIN 4109: Schallschutz im Hochbau**. Germany, 1989.
27. DOELLE, L. L. **Environmental Acoustics**. McGraw-Hill, 1972.
28. ENGEL, M. S. **Caracterização da poluição sonora, através de medições e mapeamentos sonoros e entrevistas de percepção sonora na Linha Verde em Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), UFPR, 2012.
29. EUROPEAN NORM – EN. **EM 12.354-1: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 1: Airborne sound insulation between rooms**. UK, 2000.
30. EUROPEAN NORM – EN. **EM 12.354-3: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**. UK, 2000.

31. EVEREST, F. A. **Master Handbook of Acoustics**, McGraw-Hill. Fourth Edition, 2001.
32. EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master Handbook of Acoustics**. McGraw-Hill. Fifth Edition, 2009.
33. FERREIRA, J. A. C. **Avaliação Acústica de Residências: Resultados Medidos e Simulados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFPR, 2004.
34. FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. **Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições *in situ* e simulação computacional**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, 2007.
35. FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F.; ZANNIN, P. H.T. **Pre-environmental study for the implementation of a new road system - a case study in Curitiba, Brazil**. DAGA 2012 – Darmstadt.
36. FIEDLER, P. E. K. **Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba – PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), UFPR, 2013.
37. GERGES, S. N. Y. **Ruído – Fundamentos e Controle**. Imprensa Universitária – Universidade Federal de Santa Catarina. Primeira Edição, 1992.
38. GOELZER B., HANSEN C. H., SEHRNDT G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control**. Dortmund: Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2001.
39. GOMEZ, G. O. **Acústica aplicada a la construcción: el ruido**. Santiago de Cuba: Ediciones ISPJAM, 1988.
40. GONÇALVES, O. M.; JOHN M. V.; PICCHI, F. A.; SATO, N. M. N. **Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitação**. Coletânea Habitare. v.3, p.43-49, 2003.
41. GOOGLE EARTH-MAPAS. <http://www.mapas.google.com.br>. Consulta realizada em 19 de novembro de 2013.
42. GRIFFITHS, I.D.; LANGDON, F.J., **Subjective response to road traffic noise**, Journal of Sound and Vibration, Volume 8, Issue 1, July 1968, Pages 16-32.
43. GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R., ZANNIN, P. H. T. **Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju Brazil**. Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.
44. HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 5ª Edição. Editora LTC – 2003.
45. HARRIS, C. M. **Noise Control in Buildings. A Practical Guide for Architects and Engineers**. McGraw-Hill, Inc., 1993.
46. HASSAL J. R, ZAVERI, K. **Acoustic Noise Measurement**. 4. ed. 1979.
47. HOPKINS, C. **Sound Insulation**. Elsevier / Butterworth-Heinemann, 2007.

48. HUBER, D. M. **Modern Recording Techniques**. Burlingtown: Amsco publications, 2002.
49. INTERNATIONAL STANDARD – ISO 140-5 **Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades**. Second Edition, 1998.
50. INTERNATIONAL STANDARD – ISO 354 **Measurement of sound absorption in a reverberation room**. Geneva, 1985.
51. INTERNATIONAL STANDARD – ISO 717-1 **Acoustic – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation**. Geneva, 1996.
52. INTERNATIONAL STANDARD – ISO 9613. **Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation**. Geneva, 1996.
53. INTERNATIONAL STANDARD – ISO 18.233 **Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics**. International Organization for Standardization, 2006.
54. JOBIM, M. S. S. **Método de avaliação do nível de satisfação dos clientes de imóveis residenciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
55. KINSLER, L. E.; FREY, A.R.; COPPENS A.B.; SANDERS J.V. **Fundamentals of Acoustics**. 3ª ed., USA, 1982
56. KO, J. H.; CHANG, S. I.; LEE, B. C. **Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea**. Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 544-550
57. LAAICA – Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR. Acessado em 10 de agosto de 2010. Disponível em <http://www.demec.ufpr.br/laboratorios/laaica>
58. LAKE, I. R.; LOVETT, A. A.; BATEMAN, I. J.; LANGFORD, I. H. **Modelling environmental influences on property prices in an urban environment**. Comput., Environ. and Urban Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 121±136, 1998.
59. LAW, C.; LEE, C.; LUI, A. S.; YEUNG, M. K.; LAM, K. **Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 534-543.
60. LEE, S.; CHANG, S. I.; PARK, Y. **Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea**. Applied Acoustic, v.69, p. 704-714, 2008.
61. LOJA SOS RUÍDO. **Opções de janelas/portas e preços**. Acessado em 03 de setembro de 2013. Disponível em <http://loja.sosruido.com/opcoes-de-janelas-e-precos?__store=default>.
62. LONG, M. **Architectural Acoustics**. Elsevier Academic Press, 2006.

63. MANVELL D., BANDA E.H. **Good practice in the use of noise mapping software.** Applied Acoustics 72 (2011) 527–533
64. MARTINS, L. A. C.; SAHB, C. A. S.; NETO, M. F. F. **Conforto acústico de apartamentos residenciais quanto ao ruído de impacto.** Conferencia Latino Americana de Construção Sustentável, 1, Encontro Nacional do Ambiente Construído. São Paulo, 2004.
65. MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** Acoustic, Berlin, v. 85, 448p., 1999.
66. MEHRAVARAN, H.; ZABANI, S.; NABI, B. R.; GHOSI, R.; KESHAVARZISHIRAZ, H. **Noise pollution evaluation method for identification of the critical zones in Teheran.** International Journal of Environmental Research, 5: 233-240, 2011.
67. MICHALSKI, R. L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), UFRJ, 2011.
68. MÖSER M., **Engineering Acoustics – An Introduction to Noise Control**, 289p. 2004.
69. NETO, M. F. F. **Desempenho acústico assusta o mercado.** Revista Digital AECWeb, 2012. Acessado em 03 de setembro de 2013. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/desempenho-acustico-assusta-o-mercado_3590>.
70. O GLOBO. **Essa casa é do barulho.** Edição de 28 de outubro 2012. Acessado em 5 de dezembro de 2012. Disponível em <<http://oglobo.globo.com/imoveis/essa-casa-do-barulho-6556619>>.
71. OLIVEIRA, M. A. **Estudo da eficiência da duplicação de janelas na melhoria do isolamento acústico destes componentes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.
72. PINTO, F.A.C.; MARDONES, M.D.M. **Noise mapping of densely populated neighborhoods – example of Copacabana Rio de Janeiro – Brazil** Environ Monit Assess, 155 (2009), pp. 309–318.
73. PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
74. PISANI, A. P. G. **Estudo de cortinas black-out como componentes no isolamento sonoro de fachadas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
75. POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
76. PORTUGAL. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. **Decreto Lei n.º 9/2007.** Diário da República, 1.ª Série – N.º 12 – 17 de janeiro de 2007.

77. PORTUGAL. Presidência da República. **Decreto do Presidente da República n.º 34/2008**. Diário da República, 1.ª Série – N.º 110 – 09 de junho de 2008.
78. QUEIROZ, C. S.; VIVEIROS, E. B. **Simulação do desempenho do isolamento acústico de fachadas de edificações residenciais multifamiliares de diferentes períodos arquitetônicos**. VI Congreso Iberoamericano de Acústica – FIA 2008. Buenos Aires, 5, 6 e 7 de novembro de 2008.
79. RAICHEL, D. R. **The Science and Application of Acoustics**, 2ª ed., 2000.
80. RASMUSSEN, B.; RINDEL, J. H. **Sound insulation in between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe**. Applied Acoustics, 2009.
81. RASMUSSEN, B. **Sound insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe**. International Congress and Exposition on noise control engineering, 33. Prague, 2004.
82. RECCHIA, C. A. **Estudo de desempenho acústico dos elementos construtivos que compõe a fachada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2001.
83. SAARINEN, A. **Sound insulation of facade and the evaluation of the tolerances of standard prEN 12354-3**. VTT Building Technology, Lämpömiehenkuja, Finland, 2000.
84. SAARINEN, A. **Reduction of external noise by building facades: tolerance of standard EN 12.354-3**. Applied Acoustics, Finland, v. 63, n.5, p. 529-545, 2002.
85. SAINT-GOBAIN GLASS. **Manual do vidro**. 2000.
86. SCHERER, M. J. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
87. SEARS, F.; ZEMANSKY, M.W. – **Física II – Termodinâmica e Ondas**. Ed. Person Brasil, 12ª ed., 2009.
88. SILVA, D. T. **Estudo da Isolação Sonora em Paredes Divisórias de Diversas Naturezas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 140 p. UFSM, 2000.
89. SILVA, M. A. C. **Metodologia de desempenho e NBR 15575 na concepção e desenvolvimento de empreendimentos residenciais**. Núcleo de Gestão e Inovação, 2013.
90. SIMMONS, C. **Simple Presentation of Expected Impact Sound Levels for a test flooring Laid on 35 Standardized Concrete Slabs, Using EN 12.354**. Fórum Acústico, Sevilha, 2002.
91. SIMMONS, C. **Systematic comparison of sound insulation measured in situ with building elements**. Proceedings of the International Congress on Acoustics (ICA), Rome, 2001.
92. T&E – TRANSPORT & ENVIRONMENT. **Can you hear us? Why it is finally time for EU to tackle the problem of noise from road and rail traffic**. Technical report, European Federation for Transport and Environment, 2008.

93. TSAY, K.; LIN, M., CHEN, Y., **Noise mapping in urban environments: A Taiwan study**, Applied Acoustics, Volume 70, Issue 7, July 2009, Pages 964-972
94. VALLE, S. **Manual Prático de Acústica – 3ª Edição, Revisada e Ampliada**. Editora Música&Tecnologia – 2009.
95. VERMEIR, G.; GEENTJENS, G.; BRUYNINCKX, W. **Measurement and calculation experiences on façade sound insulation**. The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Prague, Czech Republic, 2004.
96. VÉR, I. L.; BERANEK, L. L. **Noise and Vibration Control Engineering**. Second Edition, John Wiley & Sons, 2006.
97. VITTORINO, F. **Requisitos de conforto acústico, desempenho acústico e as experiências de ensaios de laboratório e campo**. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Comunicação Técnica nº 171519, 2013.
98. WANG, B.; KANG, J., **Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 556-568
99. WERNER, U. J. **Schallschutz und Raumakustik. Handbuch für Theorie und Praxis**. Bauwerk Verlag GmbH, 2009.
100. WG-AEN. European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise. **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**. Position Paper, Final Draft. Version 2, 13th January 2006.
101. WHO European Centre for Environment and Health, **Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe**, 2011.
102. ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.; FIEDLER P. E. K.; BUNN F., **Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil**, Cities, 2012.
103. ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q., **Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 479-486.
104. ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B. D.; FERREIRA, J. A. C.; SCHUHLLI. R. **Incômodo Causado Pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR**. Revista de Saúde Pública, Curitiba, v. 36, n. 4, 2002.

ANEXO I

QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE DIVERSOS ELEMENTOS

Nº	Elemento	R_w (dB)	Qualificação por GOMEZ (1988)	Valor de mercado	Fonte
Vidros					
1	Vidro monolítico comum de 4 mm de espessura	28	Pobre	-	SCHERER (2005)
2	Vidro monolítico comum de 5 mm de espessura	28	Pobre	-	SCHERER (2005)
3	Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura	29	Pobre	-	SCHERER (2005)
4	Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura	30	Regular	-	SCHERER (2005)
5	Vidro temperado de 6 mm de espessura	29	Pobre	-	SCHERER (2005)
6	Vidro temperado de 8 mm de espessura	29	Pobre	-	SCHERER (2005)
7	Vidro laminado de 6 mm de espessura (vidro comum 3 mm + filme PVB + vidro comum 3 mm)	31	Regular	-	SCHERER (2005)
8	Vidro laminado de 8 mm de espessura (vidro comum 4 mm + filme PVB + vidro comum 4 mm)	31	Regular	-	SCHERER (2005)
9	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 20 mm camada de ar + vidro monolítico comum 4 mm)	31	Regular	-	SCHERER (2005)
10	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 20 mm camada de ar + vidro monolítico comum 6 mm)	32	Regular	-	SCHERER (2005)
11	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 20 mm camada de ar + vidro monolítico comum 6 mm)	31	Regular	-	SCHERER (2005)
12	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 20 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	32	Regular	-	SCHERER (2005)
13	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 20 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
14	Vidro duplo (vidro temperado 6 mm + 20 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	32	Regular	-	SCHERER (2005)
15	Vidro duplo (vidro temperado 8 mm + 20 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	32	Regular	-	SCHERER (2005)
16	Vidro duplo (vidro laminado 6 mm + 20 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	31	Regular	-	SCHERER (2005)

17	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 50 mm camada de ar + vidro monolítico comum 4 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
18	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 50 mm camada de ar + vidro monolítico comum 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
19	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
20	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
21	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
22	Vidro duplo (vidro temperado 6 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
23	Vidro duplo (vidro temperado 8 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
24	Vidro duplo (vidro laminado 6 mm + 50 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
25	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 100 mm camada de ar + vidro monolítico comum 4 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
26	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 100 mm camada de ar + vidro monolítico comum 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
27	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
28	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
29	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
30	Vidro duplo (vidro temperado 6 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
31	Vidro duplo (vidro temperado 8 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
32	Vidro duplo (vidro laminado 6 mm + 100 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	33	Regular	-	SCHERER (2005)
33	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 150 mm camada de ar + vidro monolítico comum 4 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
34	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 150 mm camada de ar + vidro monolítico comum 6 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
35	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)

36	Vidro duplo (vidro monolítico comum 6 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
37	Vidro duplo (vidro monolítico comum 8 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
38	Vidro duplo (vidro temperado 6 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
39	Vidro duplo (vidro temperado 8 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 6 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
40	Vidro duplo (vidro laminado 6 mm + 150 mm camada de ar + vidro laminado 8 mm)	34	Regular	-	SCHERER (2005)
41	Vidro monolítico comum de 3 mm de espessura	29	Pobre	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
42	Vidro monolítico comum de 4 mm de espessura	30	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
43	Vidro monolítico comum de 5 mm de espessura	30	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
44	Vidro monolítico comum de 6 mm de espessura	31	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
45	Vidro monolítico comum de 8 mm de espessura	32	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
46	Vidro monolítico comum de 10 mm de espessura	33	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
47	Vidro monolítico comum de 12 mm de espessura	34	Regular	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
48	Vidro monolítico comum de 15 mm de espessura	36	Bom	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
49	Vidro monolítico comum de 19 mm de espessura	37	Bom	-	SAINT-GOBAIN GLASS (2000)
50	Vidro 4 mm	26	Pobre	-	VALLE (2009)
51	Vidro 6 mm	30	Regular	-	VALLE (2009)
52	Vidro 12 mm	36	Bom	-	VALLE (2009)
53	Vidros 2 x 6 mm, espaçados em 10 mm	38	Bom	-	VALLE (2009)
54	Vidros 2 x 6 mm, espaçados em 20 cm	46	Excelente	-	VALLE (2009)

Janelas

55	Janela de correr 2 folhas - vidro 4 mm - modelo 1	20	Pobre	-	SILVA (2013)
56	Janela de correr 2 folhas - vidro 4 mm - modelo 2	19	Pobre	-	SILVA (2013)

57	Janela de correr 2 folhas - vidro 4 mm - modelo 3	19	Pobre	-	SILVA (2013)
58	Janela de correr 2 folhas - vidro 6 mm - modelo 1	19	Pobre	-	SILVA (2013)
59	Janela de correr 2 folhas - vidro 6 mm - modelo 2	20	Pobre	-	SILVA (2013)
60	Janela de correr 2 folhas - vidro 6 mm - modelo 3	20	Pobre	-	SILVA (2013)
61	Janela veneziana - vidro 4 mm - modelo 1	15	Pobre	-	SILVA (2013)
62	Janela veneziana - vidro 4 mm - modelo 2	19	Pobre	-	SILVA (2013)
63	Janela veneziana - vidro 4 mm - modelo 3	19	Pobre	-	SILVA (2013)
64	Janela de correr integrada - vidro 4 mm - modelo 1	26	Pobre	-	SILVA (2013)
65	Janela de correr integrada - vidro 4 mm - modelo 2	26	Pobre	-	SILVA (2013)
66	Janela de correr integrada - vidro 4 mm - modelo 3	26	Pobre	-	SILVA (2013)
67	Janela de correr integrada - vidro 6 mm - modelo 1	26	Pobre	-	SILVA (2013)
68	Janela de correr integrada - vidro 6 mm - modelo 2	27	Pobre	-	SILVA (2013)
69	Janela de correr integrada - vidro 6 mm - modelo 3	26	Pobre	-	SILVA (2013)
70	Janela de correr (2 folhas de vidro de 4 mm) (L = H = 1200 mm)	30	Regular	-	SILVA (2013)
71	Janela de correr (2 folhas de vidro de 6 mm) (L = H = 1200 mm)	31	Regular	-	SILVA (2013)
72	Janela de correr integrada (2 folhas de vidro de 4 mm) (L = H = 1200 mm)	35	Bom	-	SILVA (2013)
73	Janela de correr integrada (2 folhas de vidro de 6 mm) (L = H = 1200 mm)	36	Bom	-	SILVA (2013)
74	Janela de correr 1 folha de vidro de 4 mm e 2 folhas venezianas (L = H = 1200 mm)	29	Pobre	-	SILVA (2013)
75	Janela de correr (2 folhas de vidro de 4 mm) (L = 1600 mm; H = 1400 mm;)	27	Pobre	-	SILVA (2013)
76	Janela de correr (2 folhas de vidro de 6 mm) (L = 1600 mm; H = 1400 mm;)	28	Pobre	-	SILVA (2013)
77	Janela de madeira de correr	20	Pobre	-	RECCHIA (2001) - adaptado
78	Janela de alumínio de correr	21	Pobre	-	RECCHIA (2001) - adaptado
79	Janela de PVC de correr	21	Pobre	-	RECCHIA (2001) - adaptado
80	Janela de ferro de correr	24	Pobre	-	RECCHIA (2001) - adaptado

81	Janela de correr, vidro de 4 mm de espessura	18	Pobre	-	OLIVEIRA (2007)
82	Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 4 mm de espessura	28	Pobre	-	OLIVEIRA (2007)
83	Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 6 mm de espessura	29	Pobre	-	OLIVEIRA (2007)
84	Janela maxim-ar de PVC com vidro simples de 8 mm de espessura	29	Pobre	-	OLIVEIRA (2007)
85	Janela maxim-ar de PVC com vidro duplo: vidro 4 mm + espaço 12 mm + vidro 6 mm	33	Regular	-	OLIVEIRA (2007)
86	Janela de giro INOVATTA de duas folhas - vidro 4 mm + espaço 20 mm + vidro 4 mm	38	Bom	R\$ 1.662,00 - instalada	CASA CLAUDIA (2009)
87	Janela máximo ar UNIBOX com vidro de 20 mm de espessura	35	Bom	R\$ 1.900,00 - instalada	CASA CLAUDIA (2009)
88	Janela máximo ar EUROSISTEM com vidro laminado de 6 mm	35	Bom	R\$ 1.050,00 - sem instalação	CASA CLAUDIA (2009)
89	Janela de abrir e tombar EUROPVC com persiana - duas folhas de vidro de 6 mm	40	Muito bom	R\$ 5.500 - instalada	CASA CLAUDIA (2009)
90	Janela de correr EPROS (vidros temperado 6 mm + 18 mm vácuo + vidro temperado 6 mm)	35	Bom	R\$ 1.024,00 - sem instalação	CASA CLAUDIA (2009)
91	Janela de correr SHINE WINDOWS. Perfil de PVC e vidro insulado (6 mm + ar desidratado + 8 mm)	40	Muito bom	R\$ 794,00 - sem instalação	CASA CLAUDIA (2009)
92	Janela de abrir e tombar WEIKU. Perfil de PVC e vidro duplo (4 mm + ar + 6 mm)	35	Bom	R\$ 1.200,00 - instalada	CASA CLAUDIA (2009)
93	Janela de abrir 2 folhas ATENUA SOM. Perfil de alumínio e vidro duplo (4 mm + ar + laminado 6 mm)	35	Bom	R\$ 1.400,00 por m ² instalado	CASA CLAUDIA (2009)
94	Janela de correr embutida com veneziana SOS RUÍDO 1200X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.990,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
95	Janela de correr embutida com veneziana SOS RUÍDO 1500X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.290,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
96	Janela de correr embutida com veneziana SOS RUÍDO 2000X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.790,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
97	Janela embutida de correr 4 folhas SOS RUÍDO 1700X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.565,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
98	Janela embutida de correr 4 folhas SOS RUÍDO 1900X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.670,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
99	Janela embutida de correr 4 folhas SOS RUÍDO 2100X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.800,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
100	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1200X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.730,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)

101	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1400X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.870,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
102	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1400X1400 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.090,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
103	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1500X1000 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.750,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
104	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1500X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.945,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
105	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1500X1500 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.260,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
106	Janela embutida de correr 2 folhas SOS RUÍDO 1600X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.015,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
107	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1100X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.750,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
108	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1200X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.730,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
109	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1400X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.960,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
110	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1400X1400 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.090,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
111	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1500X1100 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.845,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
112	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1500X1200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 1.945,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
113	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1600X1100 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.115,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
114	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1600X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.160,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
115	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1700X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.215,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
116	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1800X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.280,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
117	Janela sobreposta 2 folhas SOS RUÍDO 1900X1300 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.395,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)

118	Janela embutida maxim-ar SOS RUÍDO 600X600 mm. Vidro duplo (4 mm + 9 mm ar + 4 mm)	35	Bom	R\$ 1.050,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
119	Janela embutida maxim-ar SOS RUÍDO 600X800 mm. Vidro duplo (4 mm + 9 mm ar + 4 mm)	35	Bom	R\$ 1.160,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
120	Janela embutida maxim-ar SOS RUÍDO 800X800 mm. Vidro duplo (4 mm + 9 mm ar + 4 mm)	35	Bom	R\$ 1.260,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)

Paredes

121	Parede de bloco cerâmico	42	Muito bom	-	SILVA (2013)
122	Parede comum de tijolo em pé, rebocada - 10 cm de espessura	45	Muito bom	-	VALLE (2009)
123	Parede comum de tijolo deitado - 22 cm de espessura	50	Excelente	-	VALLE (2009)
124	Parede dupla de tijolo em pé, intervalo de 10 cm	60	Excelente	-	VALLE (2009)
125	Parede dupla de tijolo deitado, intervalo de 20 cm	70	Excelente	-	VALLE (2009)
126	Parede de concreto - 8 cm de espessura	40	Muito bom	-	VALLE (2009)
127	Paredes duplas em gesso acartonado - 7 a 30 cm de espessura	40 a 66	Muito bom a Excelente	-	VALLE (2009)
128	Parede de bloco de concreto	41	Muito bom	-	RECCHIA (2001) - adaptado
129	Parede de bloco cerâmico	37	Bom	-	RECCHIA (2001) - adaptado
130	Parede de bloco cerâmico com revestimento	43	Muito bom	-	RECCHIA (2001) - adaptado
131	Parede de alvenaria	50	Excelente	-	OLIVEIRA (2007)

Portas

132	Porta comum, oca, sem vedação no batente - 3 cm de espessura	15	Pobre	-	VALLE (2009)
133	Porta acústica, madeira ou metal - 5 a 15 cm de espessura	35 a 55	Bom a Excelente	-	VALLE (2009)
134	Porta balcão embutida SOS RUÍDO 1200X2100 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 2.810,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
135	Porta balcão embutida SOS RUÍDO 1500X2100 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 3.050,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)

136	Porta balcão embutida SOS RUÍDO 2000X2100 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 3.360,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
137	Porta balcão sobreposta SOS RUÍDO 1300X2200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 3.040,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
138	Porta balcão sobreposta SOS RUÍDO 1600X2200 mm. Vidro duplo (4 mm + 6 mm ar + 6 mm)	30	Regular	R\$ 3.360,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)
139	Porta antirruído em madeira para ambientes internos SOS RUÍDO	34	Regular	R\$ 2.500,00	LOJA SOS RUÍDO (2013)

Lajes

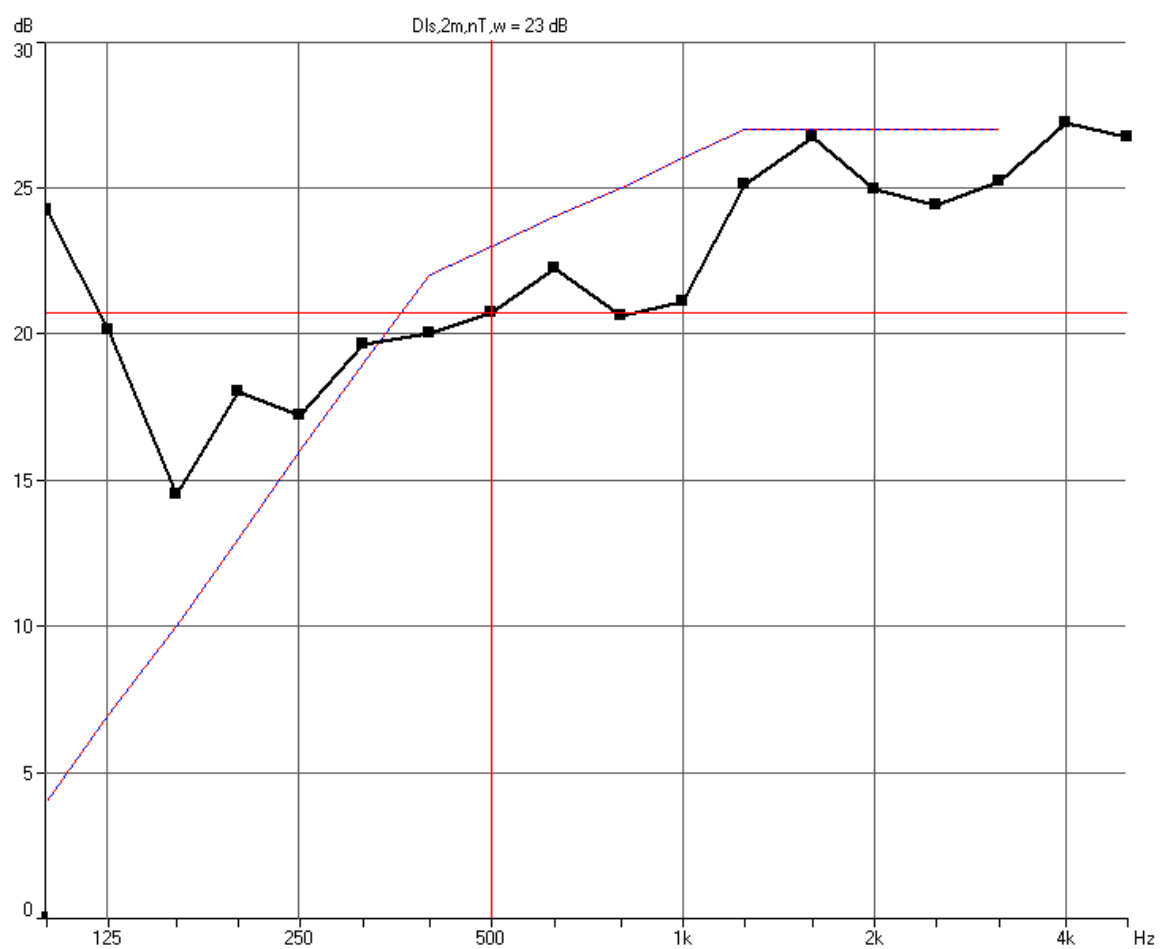
140	Laje simples de 10 cm	40	Muito bom	-	VALLE (2009)
141	Laje simples de 20 cm, rebocada por baixo	48	Excelente	-	VALLE (2009)
142	Laje flutuante de 10 cm sobre fixa de 10 mm	57	Excelente	-	VALLE (2009)

ANEXO II

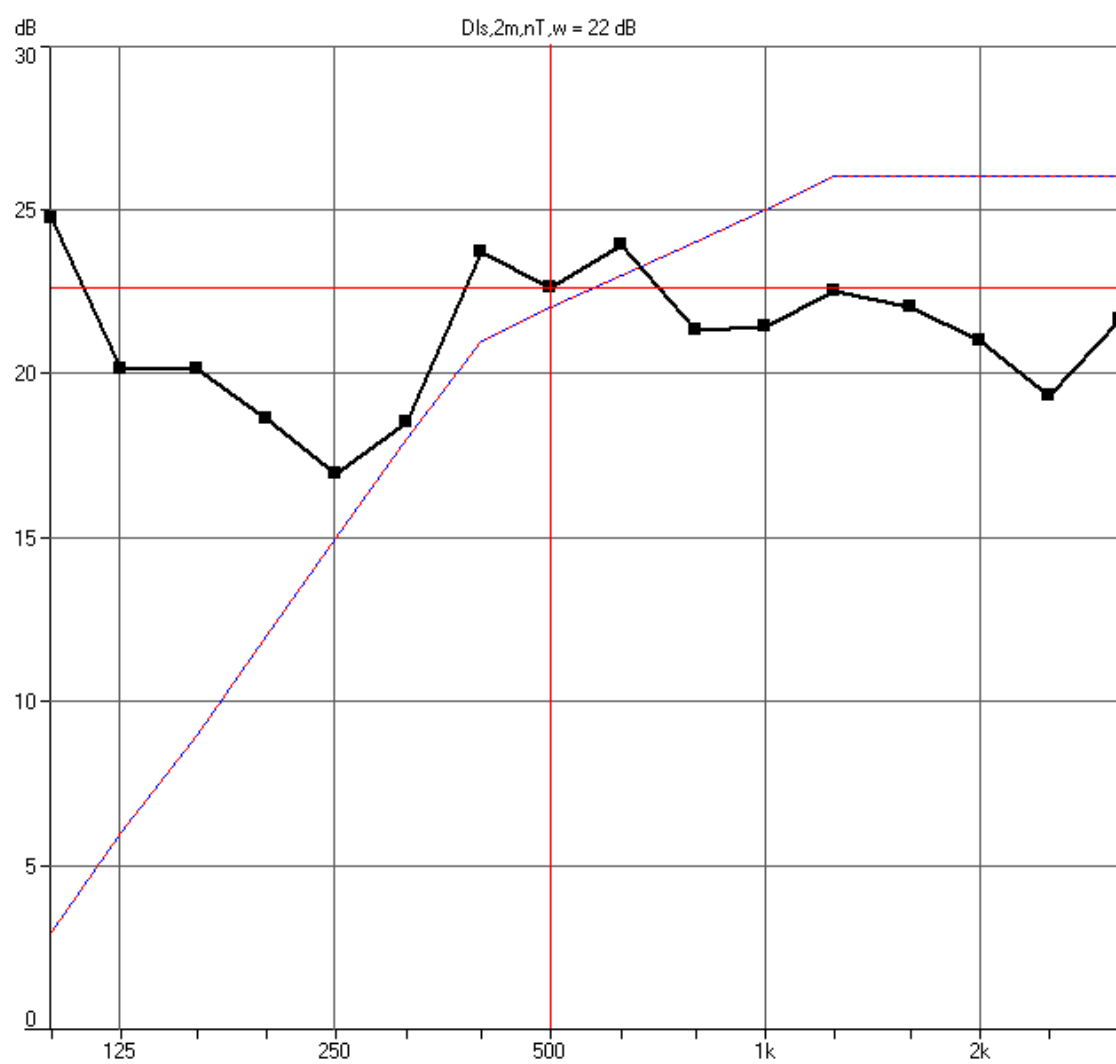
CURVAS DA DIFERENÇA PADRONIZADA DE NÍVEL DAS MEDIÇÕES

A linha roxa é a curva padrão deslocada. A linha preta é a curva medida referente à diferença padronizada de nível.

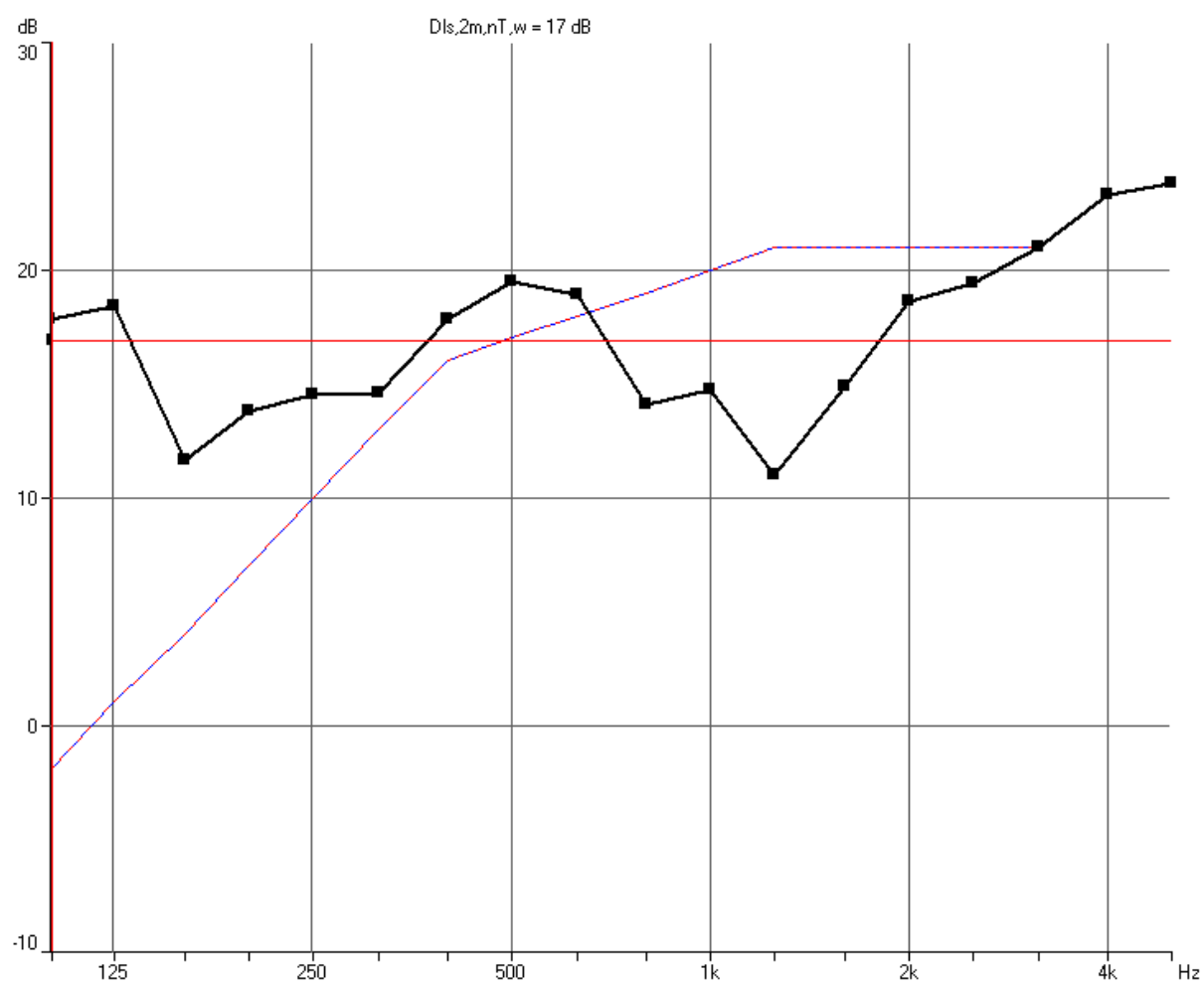
1. FACHADA 1



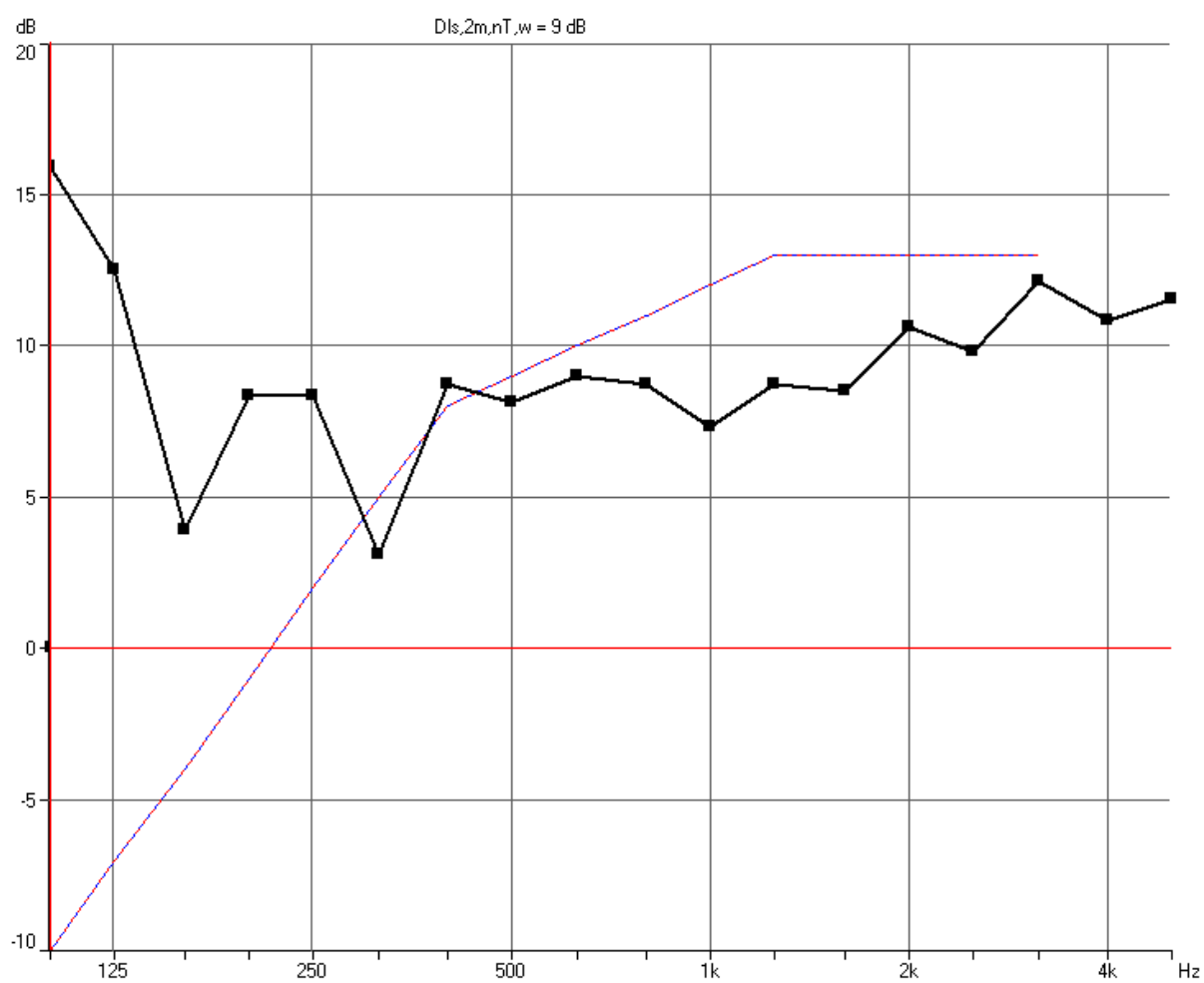
2. FACHADA 2



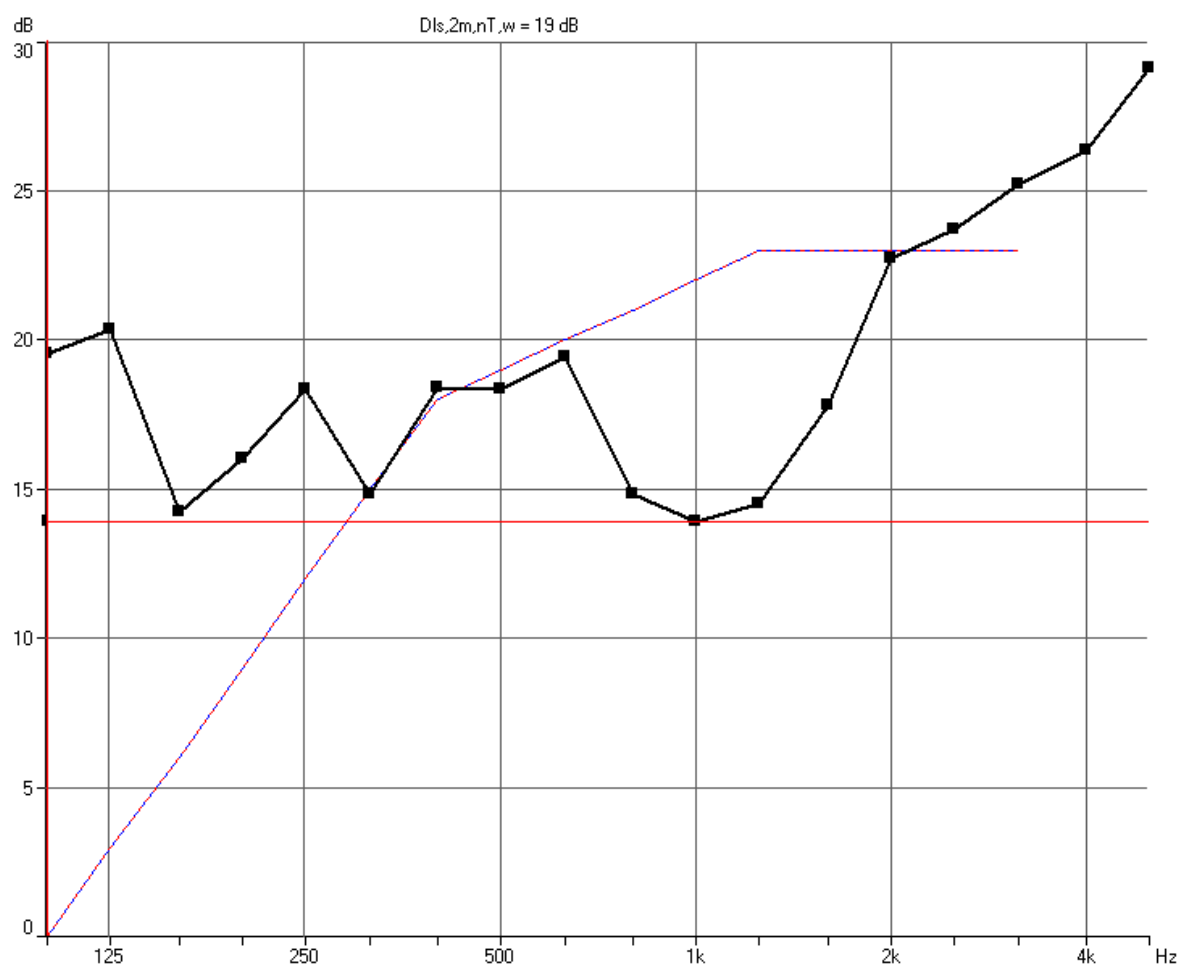
3. FACHADA 3, SITUAÇÃO 1



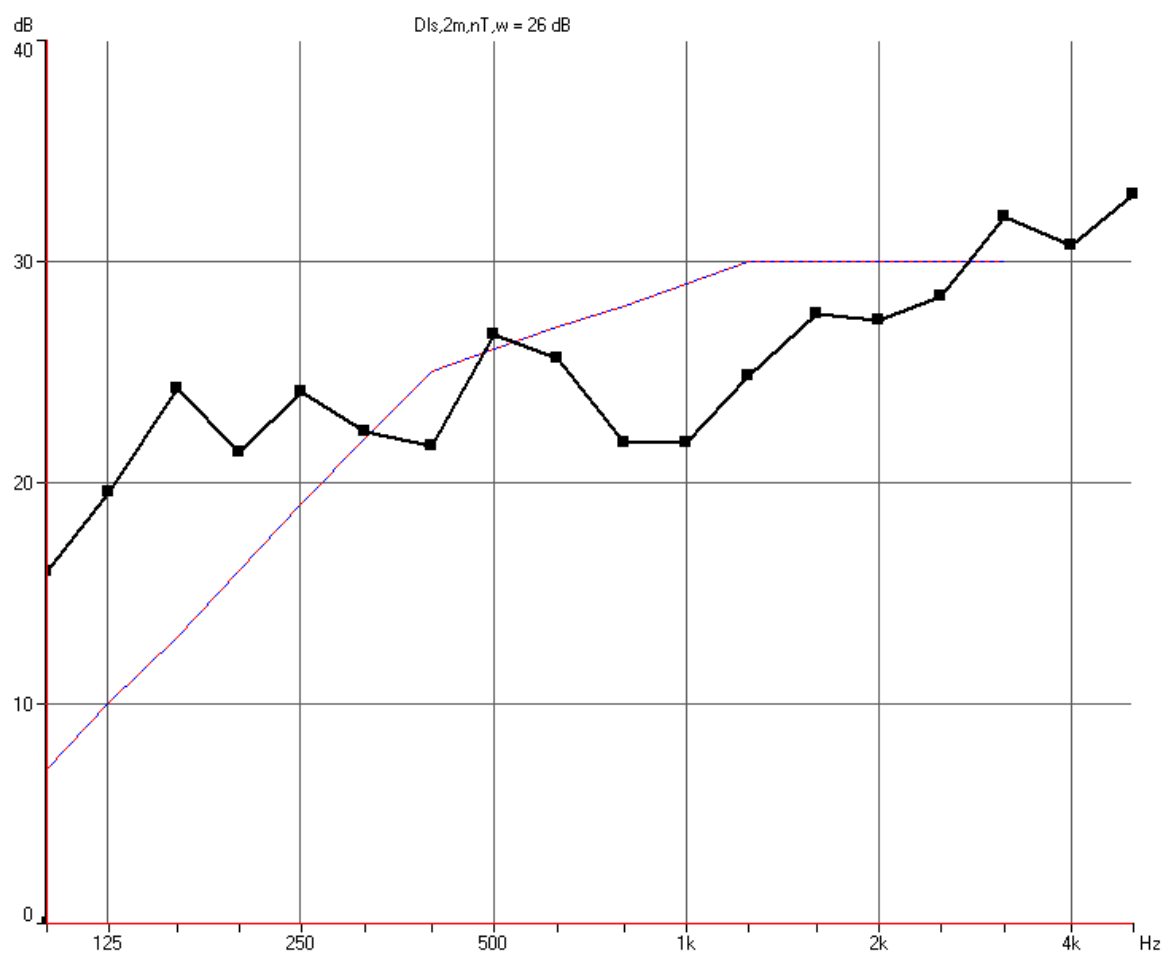
4. FACHADA 3, SITUAÇÃO 2



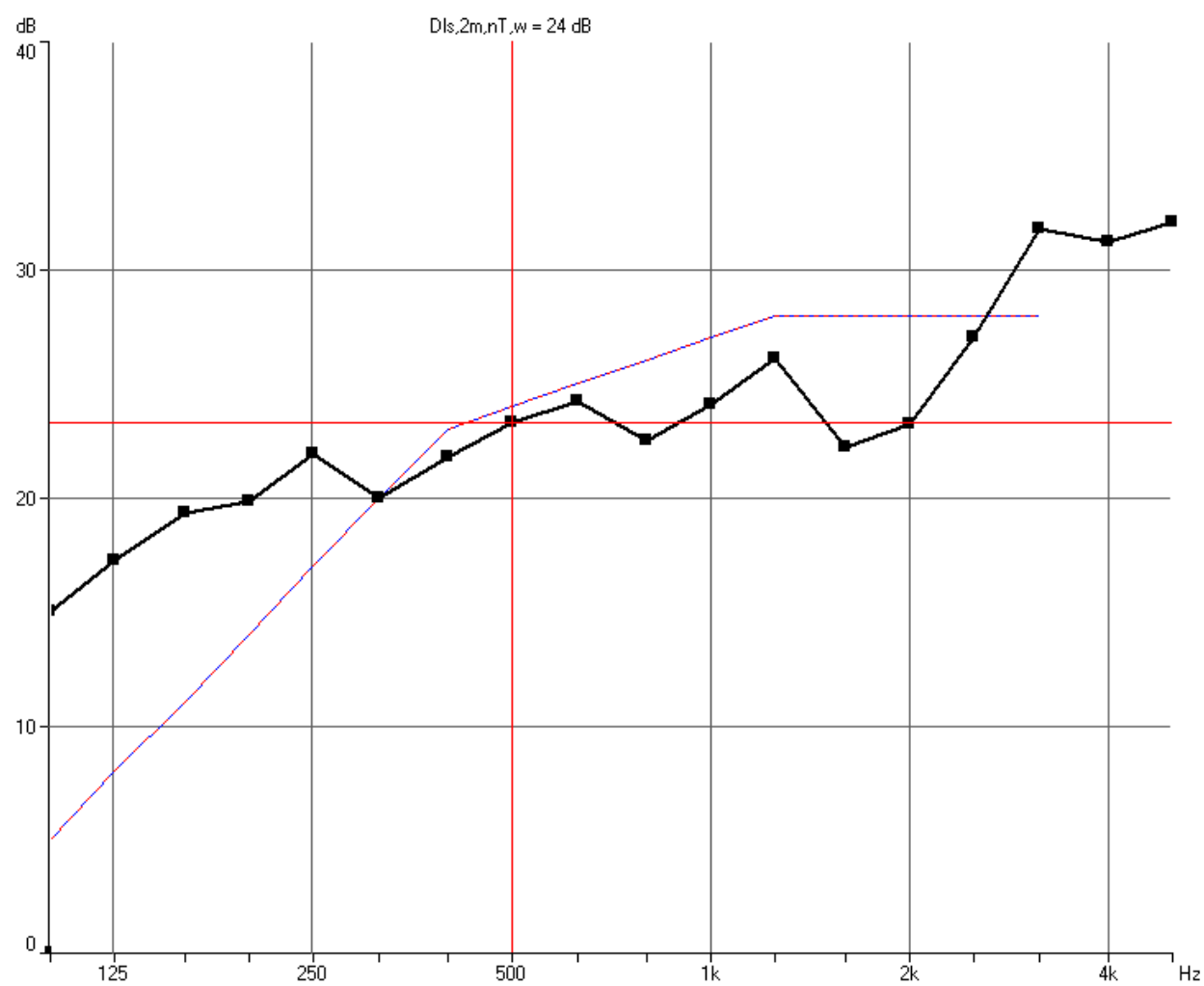
5. FACHADA 3, SITUAÇÃO 3



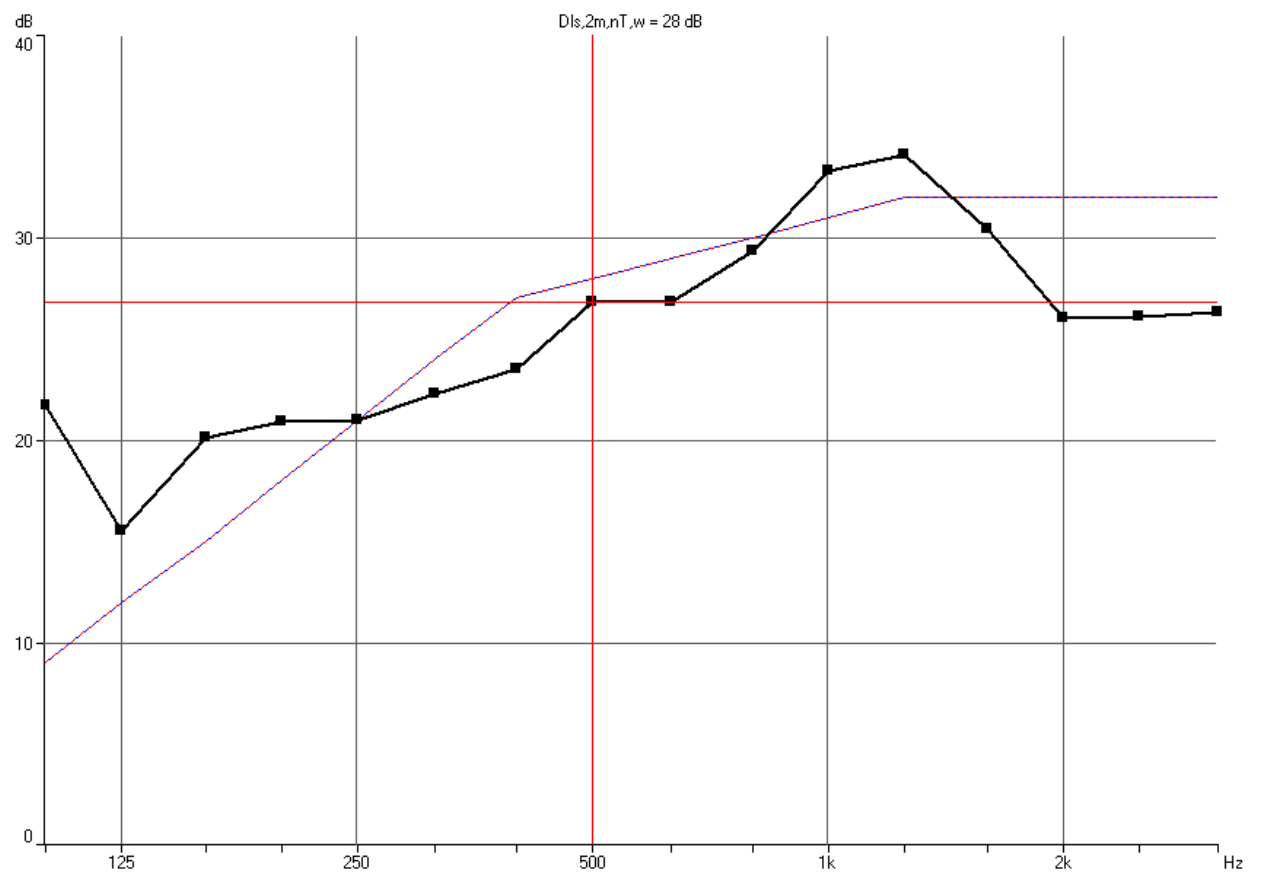
6. FACHADA 4, SITUAÇÃO 1



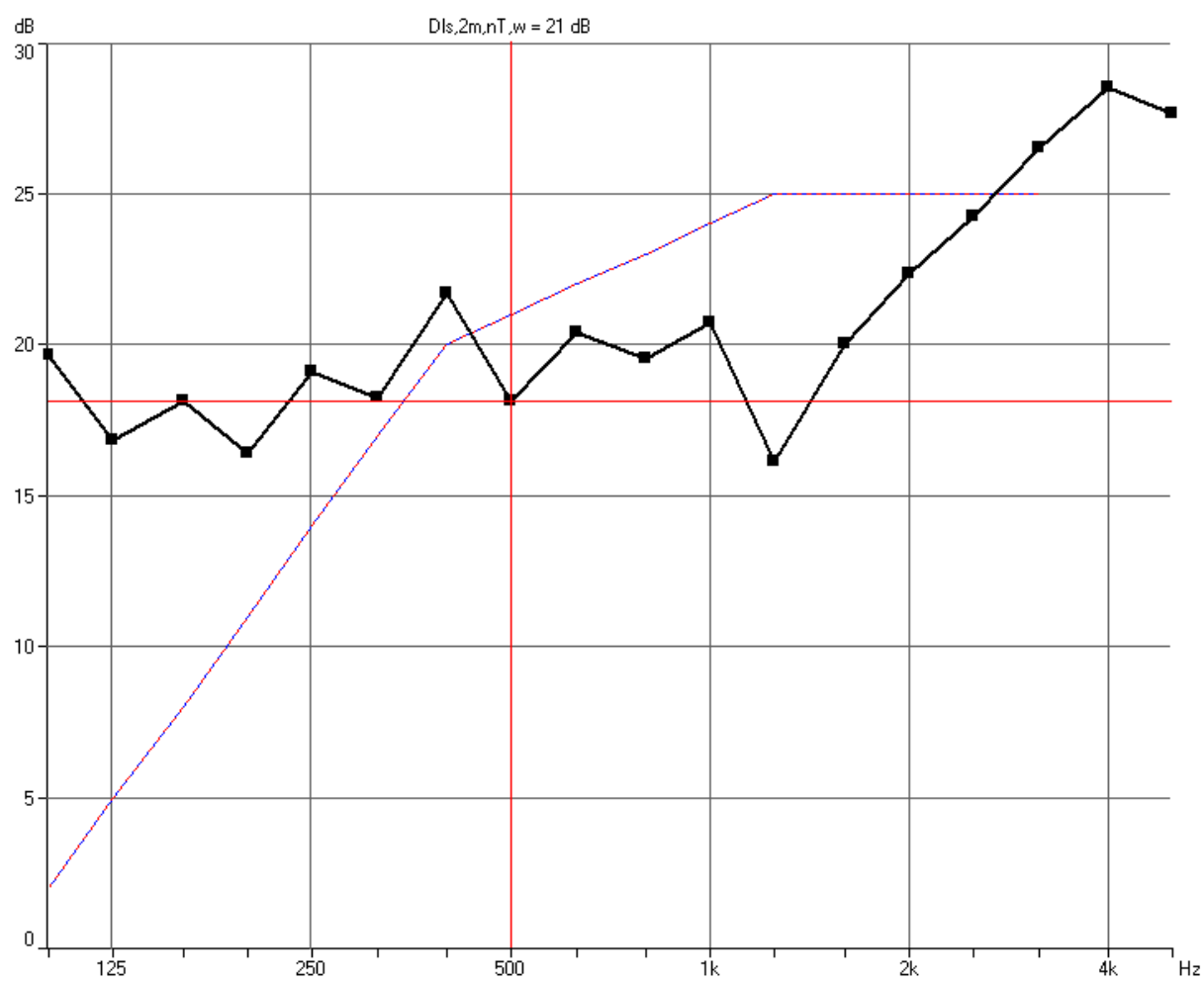
7. FACHADA 4, SITUAÇÃO 2



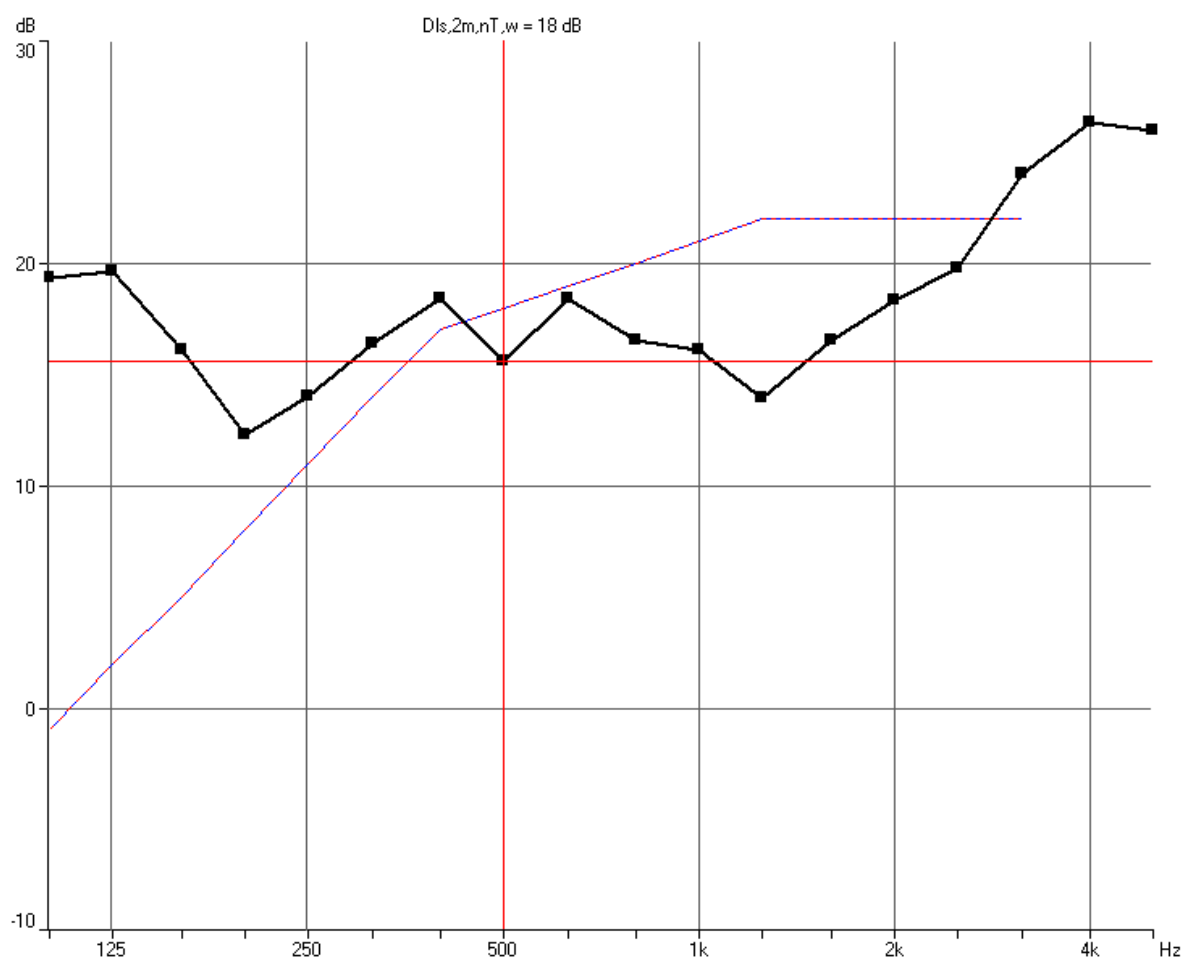
8. FACHADA 5



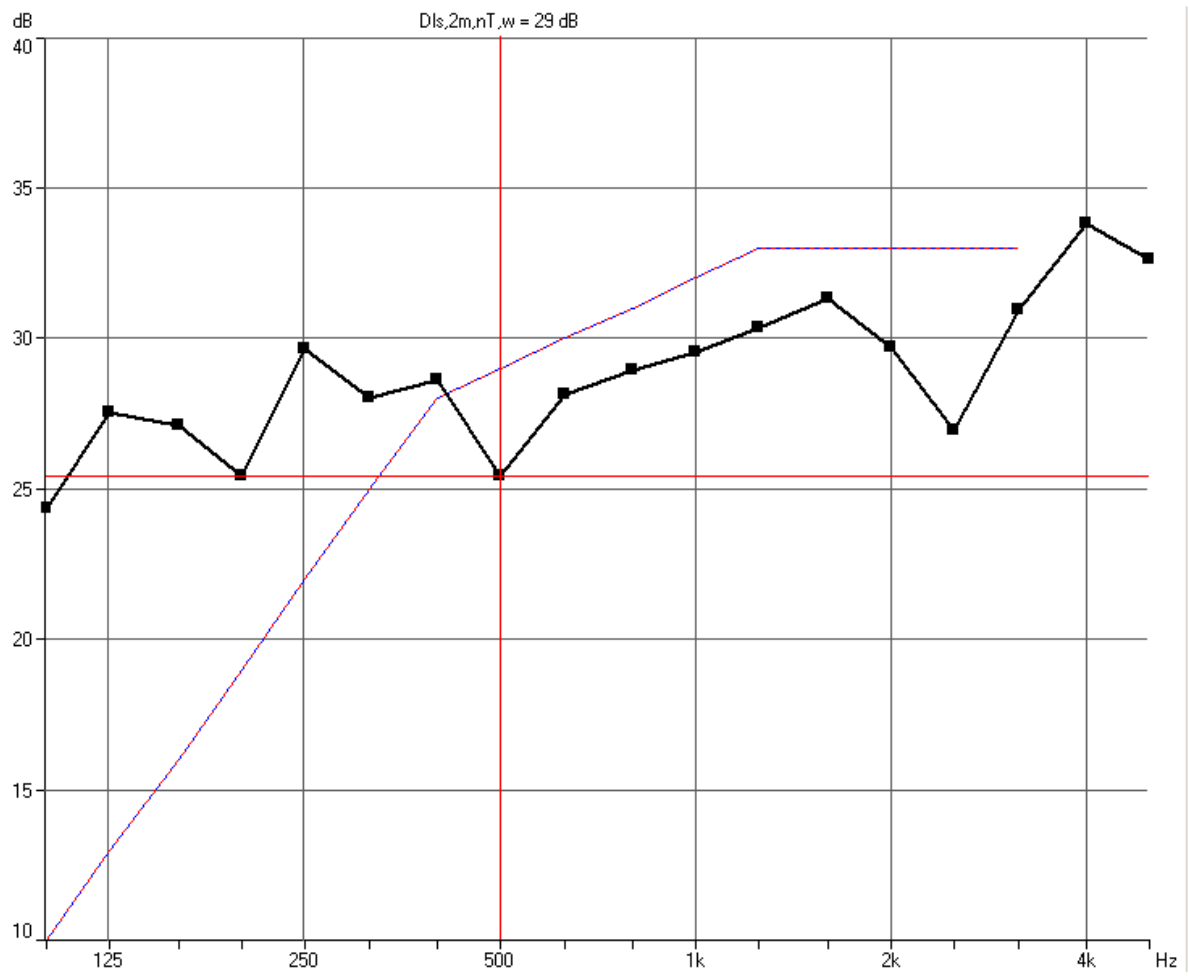
9. FACHADA 6, SITUAÇÃO 1



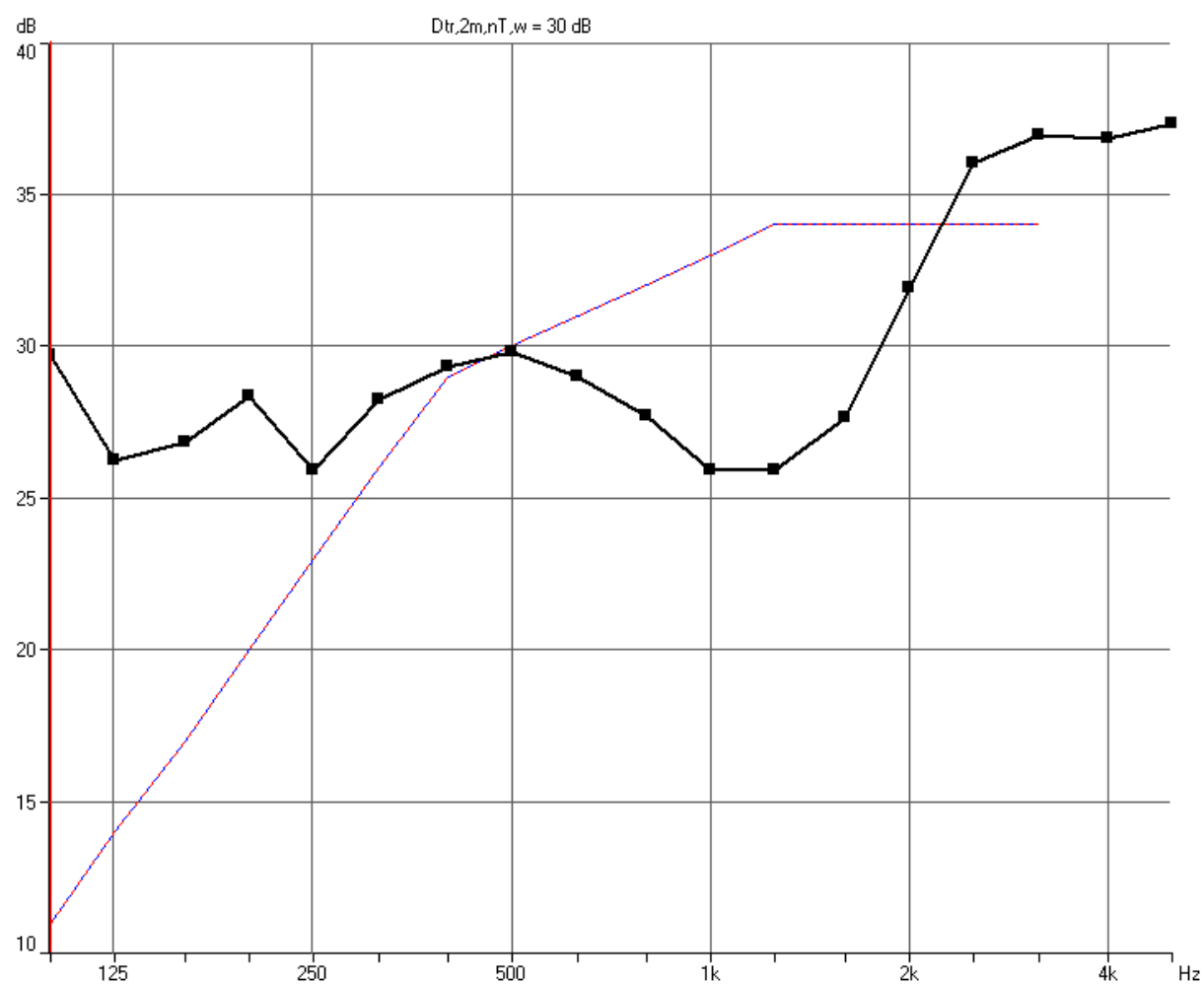
10. FACHADA 6, SITUAÇÃO 2



11. FACHADA 7



12. FACHADA 8, SITUAÇÃO 1



13. FACHADA 8, SITUAÇÃO 2

